

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA**

CULTIVOS TRANSGÉNICOS Y BIOSEGURIDAD EN COLOMBIA

ELIZABETH LÓPEZ GONZÁLEZ

**TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
Para optar al título de**

BIÓLOGA

**Bogotá, D.C.
13 de junio de 2003**

NOTA DE ADVERTENCIA

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de grado. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

Artículo 23 de la Resolución N°13 de julio de 1946.

CULTIVOS TRANSGÉNICOS Y BIOSEGURIDAD EN COLOMBIA

ELIZABETH LÓPEZ GONZÁLEZ

APROBADO

Germán Alonso Vélez Ortiz
Ingeniero Agrónomo
Director

Elizabeth Hodson de Jaramillo
Bióloga MSc, Ph.D
Codirectora

María Susana Carrizosa Pardo
Bióloga, MSc
Jurado 1

Rodrigo Artunduaga Salas
Ingeniero Agrónomo Ph.D
Jurado 2

Firmas directivas

ANEXO 2

FORMATO DESCRIPCIÓN TRABAJO DE GRADO

AUTOR O AUTORES

Apellidos	Nombres
López González	Elizabeth

DIRECTOR (ES)

Apellidos	Nombres
Vélez Ortiz	Germán Alonso

ASESOR (ES) O CODIRECTOR

Apellidos	Nombres
Hodson de Jaramillo	Elizabeth

TRABAJO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE: Bióloga

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Cultivos Transgénicos y Bioseguridad en Colombia

SUBTÍTULO DEL TRABAJO: No Aplica

FACULTAD: Ciencias Básicas

PROGRAMA: Carrera Especialización Maestría Doctorado

NOMBRE DEL PROGRAMA: Biología

CIUDAD: BOGOTA AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO: 2003

NÚMERO DE PÁGINAS: 120

TIPO DE ILUSTRACIONES:

- Ilustraciones
- Mapas
- Retratos
- Tablas, gráficos y diagramas (X)
- Planos
- Láminas
- Fotografías

MATERIAL ANEXO (VÍdeo, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: _____ Minutos.

Número de casetes de vídeo: _____ Formato: VHS ____ Beta Max ____ ¾ ____ Beta
Cam ____ Mini DV ____ DV Cam ____ DVC Pro ____ Vídeo 8 ____ Hi 8 ____

Otro. Cual? _____

Sistema: Americano NTSC _____ Europeo PAL _____ SECAM _____

Número de casetes de audio: _____

Número de archivos dentro del CD (En caso de incluirse un CD-ROM diferente al trabajo de grado: _____

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES.

Bioseguridad, Cultivos transgénicos, efectos sobre el Medio Ambiente, Legislación en Colombia, Flujo de genes, Riesgos

RESUMEN DEL CONTENIDO:

La creciente utilización de cultivos transgénicos y su alta comercialización ha generado una enorme controversia en el mundo a pesar de su uso relativamente reciente. Existen dos posiciones en el debate. Una de ellas defiende los posibles efectos de las plantas transgénicas sobre la nutrición, la lucha contra el hambre, el medio ambiente y la eficiencia agroindustrial. Por otro lado, quienes se oponen a éstas debido a los posibles efectos adversos sobre la salud, el medio ambiente y los posibles impactos socioeconómicos. En este contexto, y de acuerdo con lo establecido en el Convenio de Diversidad Biológica CDB, se ha formulado el Protocolo de Bioseguridad con el fin de establecer mecanismos de control de los posibles riesgos e impactos del uso de la biotecnología.

Para el caso de Colombia, hay dos aprobaciones para siembra comercial de cultivos; una para clavel azul y otra para algodón transgénico resistente a plagas (Bt) en el Caribe húmedo colombiano.

El presente artículo analizará para el caso específico de Colombia, el posible riesgo sobre flujo de genes de un cultivo transgénico hacia uno que no lo es y las estrategias para manejarlo. Se identifican los aspectos importantes y críticos del Protocolo de Cartagena sobre bioseguridad del CDB y las Normas de Bioseguridad vigentes en Colombia para uso agrícola. En Colombia existe, entre otros acuerdos y resoluciones, la Resolución 3492 de 1998 del ICA por medio de la cual se reglamenta y establece la introducción, producción, liberación y comercialización de cultivos transgénicos. Si bien, esta resolución cubre aspectos que el Protocolo no desarrolla, presenta ciertas debilidades. El aspecto de prioridad para fortalecer dentro de la normatividad colombiana establecida en el Protocolo, es la capacitación técnica institucional sobre Bioseguridad con el fin de iniciar un proceso hacia el desarrollo de una adecuada legislación y manejo de posibles riesgos.

CULTIVOS TRANSGÉNICOS Y BIOSEGURIDAD EN COLOMBIA

ELIZABETH LÓPEZ GONZÁLEZ

Angela Umaña Muñoz, MPhil.
Decana Académica
Facultad de Ciencia

Luz Mercedes Santamaría
Bióloga
Directora Carrera de Biología

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN

II. MARCO TEÓRICO

Capítulo 1

1. Plantas modificadas genéticamente	2
1.1. Definición	2
1.1.2. Objetivo de las plantas modificadas genéticamente	2
1.1.3. Principales rasgos que son modificados en las plantas	3
1.1.4. Obtención de una planta MG	5
1.2. Cultivos MG comercializados en el mundo	9

Capítulo 2

2. Riesgos potenciales de los organismos genéticamente modificados OMG	16
2.1. Transferencia de genes	18
2.1.1. Introgresión de OMG hacia las malezas relacionadas: creación de súper malezas	18
2.1.2. Transferencia horizontal de genes	21
2.2. La reducción del uso de plaguicidas	22
2.3. La liberación de los productos del transgén al suelo	23
2.4. Posibles riesgos asociados con los cultivos Bt	
2.4.1. Resistencia de los insectos a la toxina Bt	24
2.4.2. Impactos de la toxina Bt sobre otros organismos	24
2.5. Impacto de los cultivos MG en la biodiversidad	25
2.6. Posibles efectos sobre la salud humana	
2.6.1. Alergenicidad	27
2.6.2. La transferencia horizontal y la resistencia a los antibióticos	28
2.6.3. El promotor del virus del mosaico de la coliflor	29
2.7. Implicaciones sociales y económicas	30

Capítulo 3

3. Protocolo de Bioseguridad, legislación en Colombia y manejo de riesgos	
3.1. Definición de Bioseguridad	32
3.2. Protocolo de Bioseguridad	32
3.3. Legislación en Colombia	36
3.4. Evaluación de riesgos de OMG	40

Capítulo 4	43
4. Generalidades de <i>Zea mays</i> y sus principales transformaciones genéticas	
4.1. Características de las principales líneas de maíz MG	44
III. MATERIALES Y MÉTODOS	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
1. Estado actual de la investigación de OMG en Colombia	50
2. Debate público sobre el maíz <i>Zea mays</i> , modificado genéticamente	55
2.1. El maíz Bt y la mariposa Monarca	55
2.2. El maíz StarLink	60
2.3. Flujo genético de maíz MG hacia variedades nativas de maíz en el sur de México	62
2.4. Semillas “Terminador”	66
3. Estado actual de las semillas transgénicas	67
4. Estrategias de introducción de semillas transgénicas en Colombia	70
4.1. Clavel azul	70
4.2. Algodón Nucota 33B	72
4.2.1. Síntesis de las consideraciones sobre los resultados de los estudios en algodón	74
4.2.2. Autorización de la importación de semilla de Algodón Nucota 33B	78
5. Posibles riesgos o impactos que presenta la liberación de OMG en Colombia	
5.1. Flujo de genes	78
5.2. Resistencia a herbicidas	84
5.3. El uso de plaguicidas	87
5.4. Riesgos en la salud	91
5.5. Impactos socioeconómicos	95
6. El Protocolo de Bioseguridad del Convenio de Diversidad Biológica	98
6.1. Aspectos críticos del Protocolo	98
6.2. Aspectos importantes del Protocolo de Cartagena	100
7. Legislación en Colombia	100
8. RECOMENDACIONES	107
9. REFERENCIAS	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área global de cultivos transgénicos comercializados por países (en millones de hectáreas)	10
Tabla 2. Área global de cultivos transgénicos por cultivo, en el año 2002 (en millones de hectáreas).	11
Tabla 3. Área de cultivos transgénicos por rasgo, en 2002 (en millones de hectáreas)	11
Tabla 4. Investigación de mejoramiento de variedades mediante transgénesis realizada en Colombia por Universidades y entidades públicas y privadas.	53
Tabla 5. Algunas patentes Terminator hasta 1999.	67
Tabla 6. Variedades transgénicas de maíz producidas y patentadas por la industria hasta el año 2002	69
Tabla 7. Cultivos transgénicos dominantes, 2002	70
Tabla 8. Diversidad de los principales cultivos de los cuales Colombia es centro de origen o diversificación	79

Resumen

La creciente utilización de cultivos transgénicos y su alta comercialización ha generado una enorme controversia en el mundo a pesar de su uso relativamente reciente. Existen dos posiciones en el debate. Una de ellas defiende los posibles efectos de las plantas transgénicas sobre la nutrición, la lucha contra el hambre, el medio ambiente y la eficiencia agroindustrial. Por otro lado, quienes se oponen a éstas debido a los posibles efectos adversos sobre la salud, el medio ambiente y los posibles impactos socioeconómicos. En este contexto, y de acuerdo con lo establecido en el Convenio de Diversidad Biológica CDB, se ha formulado el Protocolo de Bioseguridad con el fin de establecer mecanismos de control de los posibles riesgos e impactos del uso de la biotecnología.

Para el caso de Colombia, actualmente hay dos aprobaciones para siembra comercial de cultivos; una para clavel azul y otra para algodón transgénico resistente a plagas (*Bt*) en el Caribe húmedo colombiano.

El presente artículo analizará para el caso específico de Colombia, el posible riesgo sobre flujo de genes de un cultivo transgénico hacia uno que no lo es y las estrategias para manejarlo. Se identifican los aspectos importantes y críticos del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad del CDB y las Normas de Bioseguridad vigentes en Colombia para uso agrícola. En Colombia existe, entre otros acuerdos y resoluciones, la Resolución 3492 de 1998 del ICA por medio de la cual se reglamenta y establece la introducción, producción, liberación y comercialización de cultivos transgénicos. Si bien, esta resolución cubre aspectos que el Protocolo no desarrolla, presenta ciertas debilidades. El aspecto de prioridad para fortalecer dentro de la normatividad colombiana establecida en el Protocolo, es la capacitación técnica institucional sobre Bioseguridad con el fin de iniciar un proceso hacia el desarrollo de una adecuada legislación y manejo de posibles riesgos.

Palabras clave: Bioseguridad, Cultivos transgénicos, Flujo de genes, Riesgo

Abstract

The increasing use and commercialization of transgenic crops have raised a strong controversy worldwide, despite its relative recent use. There are two different positions in this debate. One supports the potential effects of transgenic plants on nutrition, solving hunger problems, environmental protection and agro-industrial efficiency. The opposers, claim adverse effects in human health, environment and possible socio-economic ones. Under this view, and according with the Convention on Biological Diversity, the Cartagena Protocol in Biosafety has been established, looking forward the establishment of control mechanisms for the potential risks and impacts, caused by the use of biotechnology.

In the Colombian case, currently there are two legally approved commercial crops: one for blue carnation, and one for transgenic insect resistant (Bt) cotton for the Humid Caribbean Region.

This paper will analyze, for the Colombian case, the potential gene flow risk from a transgenic crop to a non-transgenic one, and strategies for management. Critical aspects of the Cartagena Protocol in Biosafety, and in the Colombian legislation in force for agriculture, are identified. Among others, Colombia has the ICA Resolution 3492 of 1998, which rules the introduction, production, release and commercialization of genetically modified crops. Nevertheless this Resolution considers aspects not included in the Protocol, it also has some weakness. The priority for strengthening the Protocol in the Colombian legislation is the institutional capacity building in Biosafety, part of the process of the development of a convenient legislation and management of potential risks.

Key words: Biosafety, Transgenic crops, gene flow, risk.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente utilización de cultivos transgénicos y su alta comercialización ha generado una enorme controversia en el mundo a pesar de su uso relativamente reciente. Existen dos posiciones en el debate. Una de ellas defiende los posibles efectos positivos de las plantas transgénicas sobre la nutrición, la lucha contra el hambre, el medio ambiente y la eficiencia agroindustrial. Por otro lado, quienes se oponen a éstas debido a los posibles efectos adversos sobre la salud, el medio ambiente y los posibles impactos socioeconómicos. En este contexto, y de acuerdo con lo establecido en el Convenio de Diversidad Biológica, se ha formulado el Protocolo de Bioseguridad con el fin de establecer mecanismos de control de los posibles riesgos o impactos generados ante la utilización de esta tecnología.

A pesar de que la producción mundial de algunos cultivos transgénicos como la soya, el maíz y el algodón, entre otros, llega a 500 millones de hectáreas, Colombia aún no ha ingresado de lleno a este mercado. Legalmente en Colombia existe una siembra comercial de clavel azul y otra, aprobada bajo el concepto de siembra semicomercial de algodón transgénico resistente o tolerante a plagas.

El objetivo general del presente trabajo es describir el estado actual de la investigación en plantas transgénicos de uso agrícola en Colombia y del debate público sobre los organismos transgénicos, especialmente el caso del maíz, *Zea mays*, en el ámbito mundial y nacional. Para este fin se presenta el estado actual de las semillas transgénicas producidas por la industria biotecnológica y las estrategias para su introducción en Colombia, se analizan los posibles riesgos o impactos que presenta la liberación de cultivos transgénicos de uso agrícola, sobre la salud, sobre la seguridad alimentaria, sobre los aspectos socioeconómicos, y principalmente sobre el medio ambiente, en países megadiversos como Colombia. Finalmente, se identifican los aspectos importantes y críticos del Protocolo de Bioseguridad del Convenio de Diversidad Biológica CDB y las Normas de Bioseguridad vigentes en Colombia.

II. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1

1. PLANTAS MODIFICADAS GENÉTICAMENTE (MG)

1.1. Definición

Las plantas modificadas genéticamente o transgénicas son aquellas cuyo material genético ha sido modificado mediante transformación genética. Esta modificación consiste en insertar una secuencia de genes específica que le confiere a la planta una característica deseada. La planta transgénica contiene uno o más genes que han sido insertados en forma dirigida en lugar de que la planta los adquiriera mediante la polinización (Galun & Breiman, 1998). La secuencia génica insertada (llamada el transgén) puede provenir de otra planta relacionada, no relacionada o de una especie por completo diferente. Por ejemplo, el maíz *Bt*, que produce su propio insecticida, contiene un gen de una bacteria. Las plantas que tienen transgenes a menudo son llamadas genéticamente modificadas o cultivos MG. Si bien en realidad todos los cultivos han sido genéticamente modificados con respecto a su estado silvestre original mediante la domesticación, la selección y el mejoramiento controlado a través de períodos prolongados, estas modificaciones en los años anteriores no logran sobrepasar las barreras biológicas. Técnicamente, la diferencia entre el mejoramiento tradicional (por polinización cruzada) y el mejoramiento mediante transformación genética, es que en este último solamente se introducen uno o unos pocos genes al genoma receptor, mientras que en el mejoramiento convencional se mezclan dos genomas completos en condiciones naturales (Colorado State University, 2002c).

1.1.1. Objetivo de las plantas Modificadas Genéticamente (MG)

El objetivo de estas plantas es tratar de reunir una combinación de genes en una planta de cultivo que la hagan tan útil y productiva como sea posible. Según

dónde y para qué propósito se cultive la planta, los genes deseables pueden proporcionar características tales como una mejor calidad, resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, o tolerancia al calor, al frío o a la sequía. Todas estas características generan un mayor rendimiento en el cultivo. Combinar los mejores genes en una sola planta es un proceso largo y difícil, en especial cuando las técnicas de mejoramiento tradicional se han limitado al cruzamiento artificial de plantas dentro de la misma especie o entre especies estrechamente relacionadas filogenéticamente para reunir diferentes genes (Grierson & Covey, 1991). Por ejemplo, un gen para aumentar el contenido proteínico de la soya no podía ser transferido a un cultivo completamente distinto como es el maíz, usando las técnicas tradicionales. La tecnología transgénica permite a los fitomejoradores reunir en una sola planta, genes útiles de una amplia gama de fuentes, no sólo de la misma especie de cultivo o de plantas relacionadas. Esta tecnología proporciona un instrumento para identificar y aislar genes que controlan características específicas en una sola clase de organismos y para trasladar copias de esos genes a otro organismo muy diferente, que entonces tendrá también esas características. Este instrumento permite a los fitomejoradores hacer lo que siempre han hecho, generar variedades de cultivos más útiles y productivas que contienen combinaciones nuevas de genes, y además ampliar las posibilidades más allá de las limitaciones impuestas por la polinización cruzada y las técnicas de selección tradicionales (Galun & Breiman, 1998).

1.1.2. Principales rasgos que son modificados en las plantas MG

La transformación de plantas ofrece básicamente dos resultados prácticos: 1) Mejorar la productividad de la planta mediante la introducción de genes que pueden resistir o tolerar factores (bióticos o abióticos) que influyen en la disminución de la producción. 2) Mejorar la calidad del producto de la planta. El valor relativo de la selección del resultado buscado, dependerá de la competitividad que tenga en el mercado y de las políticas sobre la eficiencia de la producción. La transformación será utilizada para introducir nuevas características que ofrecen un nuevo mercado o sacan de éste los productos convencionales (Henry, 2000). Actualmente existe mayor

énfasis en calidad orientada por la demanda, atributos adicionales, productos biofarmacéuticos e incorporación simultánea de varias características para protección de varios cultivos. Se está intensificando trabajo en papa, arroz, tomate y otros cultivos. Entre las características que son modificadas en las plantas se encuentra la calidad nutricional, la tolerancia o resistencia a insectos, a herbicidas y a enfermedades (Graff & Newcomb, 2003).

Calidad nutricional: El valor nutricional de los alimentos puede ser enriquecido mediante manipulación genética con el fin de alterar la composición del componente comestible de la planta. El contenido de carbohidratos, proteínas, fibra, minerales disponibles y vitaminas pueden ser mejorados. Por ejemplo, la composición de aminoácidos puede ser modificada para que las proteínas tengan un mayor valor nutricional (Henry, 2000). Igualmente, las últimas investigaciones han mostrado que las plantas transgénicas pueden ser modificadas genéticamente para que presenten disminución de alergenicidad en alimentos que se conocen son potencialmente alérgicos, mediante el bloqueo o remoción del gen que codifica para esta propiedad (FAO, 2003).

Resistencia o tolerancia a insectos: La transformación genética para el desarrollo de plantas con resistencia a insectos ofrece una opción para reducir el uso de agroquímicos en la agricultura. Estas plantas tienen un valor estratégico para el manejo de plagas. Entre los transgénicos disponibles de resistencia a insectos se incluyen los inhibidores de proteasas, inhibidores de α -amilasa, lectinas y toxinas bacteriales. Los inhibidores de proteasas previenen la digestión de proteínas por los insectos, los cuales reducen su tasa de crecimiento. Las lectinas son proteínas de cadenas de carbohidratos que se pueden unir al epitelio del intestino y son tóxicas para los insectos. El inhibidor α -amilasa puede también ser efectivo en el control de insectos. *Bacillus thuringiensis (Bt)* produce proteínas cristalinas con una acción insecticida específica sobre determinados insectos de las familias Lepidóptera, Díptera y Coleóptera principalmente. Los cristales intracelulares del *Bt* son producidos por la bacteria durante la esporulación y son ingeridos por algunos insectos, que presentan receptores de membrana específicos en el intestino, el cual

tiene la particularidad de ser alcalino. Estas condiciones son adecuadas para que los cristales del *Bt* ataquen específicamente a este tipo de insectos. Los fragmentos tóxicos son después liberados y rompen el revestimiento del intestino de los insectos (Henry, 2000).

Resistencia o tolerancia a enfermedades: La resistencia o tolerancia a enfermedades causada por bacterias, hongos, virus y nemátodos puede ser controlada mediante transformación genética. Nuevas secuencias pueden ser identificadas con el fin de conferir resistencia o tolerancia a más de una de estas clases de patógenos de las plantas (Henry, 2000).

Resistencia o tolerancia a herbicidas: La transformación genética puede ofrecer plantas resistentes o tolerantes a herbicidas. Cuando es aplicado el herbicida sobre un cultivo, este no es afectado debido a que las plantas han sido modificadas para tolerarlo (Henry, 2000).

1.1.3. Obtención de una planta MG

La producción de una planta MG es posible básicamente utilizando dos técnicas. La primera es la transformación directa mediante sistemas como biobalística, microinyección, electroporación y transformación viral, entre otros, y la segunda es la transformación indirecta mediada por *Agrobacterium* (Galun & Breiman, 1998).

Uno de los sistemas más corrientemente utilizados para obtener plantas transgénicas es el mediado por *Agrobacterium tumefaciens*. *A. tumefaciens* es una bacteria que se encuentra en forma natural en el suelo como patógeno (Henry, 2000). En condiciones naturales, tiene la particularidad de inducir tumores en las plantas, formados por una proliferación desorganizada de las células de ésta (Grierson & Covey, 1991), los cuales se conocen como agallas de la corona (Henry, 2000). La bacteria contiene un plásmido denominado plásmido Ti, el cual es una secuencia de DNA extracromosomal la cual contiene la información genética responsable de inducir el tumor mediante la transferencia de genes “oncogénicos” a la planta que infecta. Sólo una pequeña sección del plásmido es la que se transfiere a las células de

las plantas. Esta secuencia es conocida como T-DNA, la cual, en las técnicas de transformación vegetal, es sustituida por la secuencia que contiene el gen de interés (Galun & Breiman, 1998).

Para diseñar la construcción (constructo) que se desea transferir a la planta dada, debe considerarse que se requieren tres componentes para que un gen sea funcional en cualquier célula. Una secuencia promotora apropiada en el extremo 5' (que es el extremo inicial) de la construcción genética, el gen específico seleccionado y una secuencia de terminación (terminadora) que debe estar adherida al extremo 3' de la secuencia total (Henry, 2000). El promotor, la secuencia inicial 5' y la secuencia terminadora 3' adecuados, aseguran la eficiencia de la transcripción, su estabilidad y traducción del mRNA de la secuencia (Hodson, 1999). Para esto se requieren enzimas de restricción encargadas de reconocer y cortar las secuencias específicas de DNA en los sitios de reconocimiento. Cuando se va a transformar genéticamente una planta, se realiza una construcción que presente tales componentes. La transformación genética generalmente involucra dos genes, el transgén de interés que puede ser integrado y expresado en el genoma de la planta y un gen de selección que permita identificar las células transformadas efectivamente. Cada uno de los transgenes debe tener su propio promotor y su propio terminador, los cuales pueden ser diferentes para cada gen (Galun & Breiman, 1998).

Una vez se ha obtenido la secuencia que contiene el gen de interés, se modifica el T-DNA del plásmido Ti y se le introduce la nueva construcción que implica al gen de interés. Posteriormente se transforman las plantas con el T-DNA que contiene el nuevo gen que ha sido introducido en el plásmido y a su vez, en la bacteria. Las plantas transformadas deben regenerar plantas completas y transformadas (Galun & Breiman, 1998).

Para llevar a cabo la transferencia del gen foráneo a la planta, es necesario utilizar un vector que es el instrumento o “vehículo” utilizado para la movilización y transferencia del gen (o genes) hacia las células vegetales de la construcción genética. Existen dos tipos de vectores basados en el plásmido Ti: los vectores cointegrativos y los vectores binarios. Los vectores cointegrativos presentan gran tamaño (de 150 a

250 kilobases), tienen una baja frecuencia de introducirse en *A. tumefaciens*, y cuando logran introducirse son mas estables que los vectores binarios. En contraste, los vectores binarios se replican en una amplia gama de hospederos. En los procesos de transformación de plantas es preferible utilizar los vectores binarios debido a la eficiencia de la transformación, la cual está inversamente relacionada con el tamaño del plásmido (Hodson, 1999). Esta característica permite a los plásmidos, arreglar o acomodar segmentos de gran tamaño del DNA foráneo antes de que disminuya la eficiencia de transformación (Henry, 2000).

Como se mencionó, en las construcciones de DNA se requiere un promotor que es un segmento de DNA que conduce el resto de la secuencia para que sea transcrita, esta secuencia guía contiene elementos que son esenciales para la traducción de la secuencia total (Galun & Breiman, 1998). Durante un tiempo los promotores que se utilizaron para la transformación genética fueron los promotores endógenos de los genes del T-DNA. Entre ellos se pueden mencionar el de la nopalina sintasa (*pnos*), el *ocs* (octopina sintasa) y el *mas* (manopina sintasa), usados exitosamente para expresión directa de genes en células de plantas. Adicionalmente virus de plantas las cuales dependen de los factores de transcripción y traducción de la planta han sido usados como una fuente de elementos reguladores (Hodson, 1999). Uno de ellos es el promotor 35S del Virus del Mosaico de la Coliflor (CaMV), uno de los más utilizados en la última década. Su éxito se debe a que promueve la expresión de genes en cualquier tejido de la planta permanentemente (Galun & Breiman, 1998).

Dado que la eficiencia de transformación, de las células expuestas al DNA foráneo, es baja, es necesario utilizar genes de selección. Estos genes se utilizan para detectar las células o tejidos vegetales que fueron transformados exitosamente (con toda su construcción genética). Los genes de selección codifican para proteínas que expresan resistencia a agentes fitotóxicos en la planta transformada. De esta manera, después del proceso de transformación, los tejidos o los órganos de las plantas son transferidos a un medio de cultivo, para el crecimiento de callos, regeneración de los explantes y enraizamiento, en donde el agente de selección es adicionado, convirtiéndolo en un medio selectivo (Hodson, 1999). Lo ideal es que el tejido de la

planta que ha sido transformado sea muy sensible a la fitotoxina y que el gen selectivo pueda eliminar completamente esta sensibilidad para que sobrevivan únicamente los casos exitosos (Galun & Breiman, 1998).

Los genes de selección que han sido utilizados más frecuentemente en la última década para la transformación de plantas pueden ser divididos en dos grupos. Uno, incluye genes que confieren resistencia a antibióticos (algunos de estos genes son de origen bacterial, donde la selección para resistencia a componentes tóxicos es un procedimiento habitual) y el otro confiere resistencia a herbicidas. Este último puede servir para seleccionar las transformaciones y para conferir resistencia a los respectivos herbicidas. Existe un tercer grupo que incluye genes que causan resistencia al nitrato, a niveles de aminoácidos o a aminoácidos análogos (Galun & Breiman, 1998). Algunos genes de selección comúnmente utilizados son:

Neomicin fosfotransferasa (nptII) ha sido el gen de selección más utilizado. *nptII* codifica para síntesis de la enzima neomicin fosfotransferasa, la cual detoxifica antibióticos aminoglicósidos como la kanamicina, la geneticina, la paromicina y la neomicina. En el proceso de selección de la técnica, es posible elegir entre estos aminoglicósidos aquel que mejor se ajuste a su sistema en combinación con el gen *nptII* (Galun & Breiman, 1998). En muchas plantas la expresión del gen *nptII* proporciona altos niveles de resistencia a antibióticos aminoglicósidos tales como los mencionados arriba y al antibiótico sintético G-418 permitiendo una clara selección de las transformaciones. El gen *nptII* no ha sido conveniente para algunas especies de plantas, porque en muchas plantas monocotiledóneas sobreviven muchas células no transformadas y su crecimiento no es inhibido por el antibiótico, razón por la cual no es conveniente como sistema de selección en estos casos (Hodson, 1999). *Higromicin fosfotransferasa (hpt)* fue aislado de la bacteria *Eschericia coli* y causa resistencia al componente antibiótico higromicina (Galun & Breiman, 1998).

Actualmente la utilización de marcadores de selección negativos como los antibióticos o los herbicidas se está reemplazando por marcadores de selección positivos, los cuales presentan una reacción conocida. Entre estos se incluye el de la proteína verde fluorescente GFP, el de la luciferasa y de glucoronidasa GUS, entre

otros. En el caso de la *Proteína verde fluorescente (gfp)*, este gen codifica una proteína verde fosforescente y fue aislado de una medusa. La expresión de GFP es autónoma en la célula y la detección de la proteína es realizada por radiación de UV (ultravioleta) o luz azul sobre el tejido (Galun & Breiman, 1998).

1.2. Cultivos MG comercializados en el mundo

La comercialización global de cultivos MG comenzó entre 1996 y 1998, período durante el cual ocho países, cinco industrializados (Estados Unidos, Canadá, Australia, España y Francia) y tres en desarrollo (Argentina, México y Sur África), contribuyeron al incremento del área global sembrada con cultivos transgénicos (James, 1998). Aunque con anterioridad, ya la primera liberación de cultivos MG había tomado lugar en EEUU en 1994. Se trataba de una variedad de tomate, el FlavrSavr. Adicionalmente hay informes de que en 1992 ya existían algunas plantaciones comerciales de tabaco, a gran escala en China (cerca de 8000 hectáreas, en la Provincia Central de Henan). Oficialmente, China empezó a comercializar cultivos MG en 1998 (Nap *et al.*, 2003).

El área global de cultivos MG se había incrementado de 1.68 millones de hectáreas en 1996 a 27.8 millones de hectáreas en 1998. Para esta fecha, los cinco cultivos MG principales fueron, en orden descendente de área sembrada, soya, maíz, algodón, canola y papa (James, 1998). Para el año 2001, ya un total de 16 países, 10 industrializados y 6 en desarrollo, contribuyeron al incremento del área sembrada global de cultivos MG, llegando a 52.6 millones de hectáreas. Estudios recientes, tanto en países industrializados como en desarrollo, han confirmado que los agricultores están sembrando cultivos MG que confieren tolerancia a herbicidas y cultivos Bt que confieren resistencia a insectos. Para el año 2002, el área estimada sembrada con cultivos MG fue de 58.7 millones de hectáreas. El incremento del área sembrada del año 2001 a 2002 fue de 12% equivalentes a 6.1 millones de hectáreas. Este incremento de área se ha dado tanto en países industrializados como en países en desarrollo. Aunque las dos cifras incrementan, los países industrializados presentan mayor área para este año (42.7 millones de hectáreas) que los países en desarrollo (16

millones de hectáreas). De las 42.7 millones de Ha sembradas por los países industrializados, Estados Unidos cuenta con 39 y Canadá con 3.5. Los países en desarrollo, tienen las 16 millones de hectáreas de cultivos MG concentradas en Argentina con 13.5, en China con 2.1 y Sur África con menos de un millón de hectáreas. Otros países que han iniciado evaluaciones y siembra de estos cultivos son Australia, India, Rumania, España, Uruguay, México, Bulgaria, Indonesia, Colombia, Honduras y Alemania (Tabla 1). Todos estos, con menos de 1 millón de hectáreas sembradas. El 95% del área cultivada con OMG se encuentra en tres países, Estados Unidos, Canadá y Argentina (James, 2002).

Tabla 1. Área global de cultivos transgénicos comercializados por países (en millones de hectáreas)

País	2001	%	2002	%
USA	35.7	68	39.0	66
Argentina	11.8	22	13.5	23
Canadá	3.2	6	3.5	6
China	1.5	3	2.1	4
Sur África	0.2	< 1	0.3	1
Otros	< 0.1	< 1	< 0.1	1

Fuente: James, 2002.

En relación con el cultivo MG más cultivado para el año 2002, en estos países, se encuentra la soya, que ocupa 36.5 millones de hectáreas, correspondiente al 62% del total de los cultivos MG. El segundo lugar lo ocupa el maíz con 12.4 millones de hectáreas (21% del total de los cultivos MG sembrados) seguido por el algodón con 6.8 millones de hectáreas (Tabla 2). Otros cultivos como la canola, la calabaza y la papaya ocupan menos de 4 millones de hectáreas, siendo los menos comercializados actualmente en el mundo (James, 2002).

Tabla 2. Área global de cultivos transgénicos por cultivo, en el año 2002 (en millones de hectáreas).

Cultivo	Hectáreas	Porcentaje
Soya	36.5	62
Maíz	12.4	21
Algodón	6.8	12
Canola	3.0	5
Calabaza	< 0.1	< 1
Papaya	< 0.1	< 1
TOTAL	58.7	100

Fuente: James, 2002

Al igual que en el año 2001, y durante todo el período 1996 a 2002, el tipo de modificación genética que ha dominado en los cultivos MG, es el que presenta tolerancia a herbicidas, seguidos por los cultivos MG de resistencia a insectos. En el año 2002 la tolerancia a herbicidas, especialmente en los cultivos de soya, maíz y algodón ocuparon el 75% de las 58.7 millones de hectáreas plantadas en este año; el 17% correspondió a resistencia a insectos en cultivos *Bt* (Tabla 3). En conclusión, el cultivo MG con mayor área de siembras comerciales, ha sido la soya tolerante a herbicidas, seguido por el maíz *Bt*, el cual ocupa 7.7 millones de hectáreas (James, 2002).

Tabla 3. Área de cultivos transgénicos por rasgo, en 2002 (en millones de hectáreas)

Rasgo	Hectáreas	Porcentaje
Tolerancia a herbicida	44.2	75
Resistencia a insectos (<i>Bt</i>)	10.1	17
Tolerancia a herbicidas/ <i>Bt</i>	4.4	8
Resistencia a virus/Otros	< 0.1	< 1
TOTAL	58.7	100

Fuente: James, 2002

La tendencia en el mundo es que se incremente el área de cultivos MG, aunque existen algunos productos transgénicos cuya producción ha sido suspendida. Este es el caso de los tomates FlavrSavr, la pasta de tomate Zeneca y las papas New Leaf entre otros. En el caso de los tomates FlavrSavr introducidos en 1994 por

Calgene®, estos contenían una secuencia genética que hacía que maduraran con más lentitud que los tomates tradicionales. El tomate FlavrSavr era comercializado como variedad transgénica a mayor costo debido a su mejor sabor. Calgene® ha dicho que hubo problemas de control de la calidad con los tomates FlavrSavr. La compañía no tuvo acceso a las mejores variedades (aquellas que eran preferidas por el consumidor) y la secuencia genética fue insertada en una variedad que no poseía cualidades homogéneas de producción. Los tomates resultantes a veces eran inferiores a los estándares de comercialización establecidos para la etiqueta FlavrSavr (Colorado State University, 2002b). La manipulación del gen de la maduración tenía consecuencias imprevistas como la piel blanda, sabor extraño y cambios en la composición del tomate, y los consumidores lo rechazaron. Aunque el tomate mantiene durante más tiempo el aspecto deseado, todos los otros procesos de envejecimiento continúan: las vitaminas y los demás elementos nutritivos se descomponen como en cualquier tomate (Riechman, 2002). Durante varios años se continuó una baja producción de tomates FlavrSavr, pero finalmente, se dejó de producir por problemas de mercado (Colorado State University, 2002b).

La pasta de tomate Zeneca fue otro producto abiertamente comercializado como transgénico. Los tomates Zeneca eran de maduración lenta como los FlavrSavr, pero el método empleado para lograr esta característica fue distinto. En ambos tipos de tomates se redujo la actividad de la poligalacturonasa, la enzima ablandadora. Los tomates FlavrSavr fueron modificados con un gen antisentido para esta enzima, mientras que en los tomates Zeneca se utilizó una versión abreviada y no funcional del gen. Los supermercados Safeway y Sainsbury en Gran Bretaña vendieron pasta de tomates Zeneca por unos tres años, pero el producto fue retirado en 1999 a causa de la opinión pública adversa a los transgénicos en general (Colorado State University, 2002b).

Las papas NewLeaf de NatureMark de Monsanto®, genéticamente modificadas con el gen *Bt* para proporcionar resistencia a las plagas de insectos, fue comercializada por primera vez en 1996. Más tarde se introdujeron dos productos adicionales, *NewLeaf* que tenía *Bt* y resistencia al virus Y de la papa, y *NewLeaf Plus*,

que tenía *Bt* y resistencia al virus del enrollamiento foliar de la papa. Las papas *NewLeaf* nunca tuvieron una participación importante en el mercado, en parte porque varias cadenas de comida rápida y fabricantes de hojuelas de papa se negaron a aceptarlas. En la primavera de 2001 Monsanto® anunció que se interrumpiría la producción de papas *NewLeaf* para que la empresa pudiera concentrarse en productos más rentables (Colorado State University, 2002b).

En el caso del lino Triffid, desarrollado por la Universidad de Saskatchewan para lograr tolerancia al herbicida sulfonilurea, dejó de producirse en la primavera de 2001. Los productores de lino canadienses estaban preocupados porque sus clientes más importantes, los compradores europeos, se negaban a adquirir lino MG. La preocupación por la posible contaminación de la semilla de lino tradicional condujo al retiro del lino Triffid (Colorado State University, 2002b).

Una situación diferente fue el caso del Maíz StarLink, el cual, como otros tipos de maíz *Bt*, fue modificado genéticamente para obtener resistencia al barrenador europeo del maíz. En las pruebas, la proteína Cry9C de *Bt* usada en el maíz *Starlink* mostró algunas similitudes con alérgenos conocidos. Entre otras características, en las pruebas de digestión simulada tardó más en descomponerse que la proteína Cry1A utilizada en otros tipos de maíz *Bt*. A pesar de no haberse presentado respuesta alérgica real en humanos, como prevención y debido a la preocupación por la posibilidad de respuestas alérgicas llevó a los encargados de la reglamentación en Estados Unidos a aprobar la producción del maíz *StarLink* con la restricción de que fuera usado sólo para alimentación animal o con propósitos no alimentarios. Sin embargo se encontró que estaban apareciendo productos procesados que contenían maíz *StarLink* en las estanterías de las tiendas de abarrotes, así como en cadenas de comida rápida. Aventis®, el productor del maíz *StarLink*, interrumpió la venta de semillas en el otoño de 2000, y el producto fue retirado del mercado (Colorado State University, 2002b).

El caso del maíz *Bt 176*, conocido como el evento 176 fue utilizado con el fin de producir semilla de maíz *Bt* comercializada con las etiquetas KnockOut (Novartis®) y NatureGard (Mycogen®). En contraste con otros tipos de maíz *Bt*,

comercializados como YieldGard® por Novartis®, Cargill®, DeKalb® y Pioneer®, el polen del maíz Bt 176 se reportó como tóxico para las orugas de la mariposa monarca, que a menudo viven en los maizales pero no consumen maíz. Estudios en el laboratorio (Losey *et al.*, 1999) mostraron que la presencia del polen del maíz Bt 176 en la superficie de hojas de algodoncillo, maleza de la familia Asclepiadaceae que utiliza la larva monarca como alimento, hacía que las orugas de monarca consumieran menos tejido foliar. Por otro lado, el maíz Bt 176 no fue un éxito comercial, probablemente porque proporcionaba buena protección contra el barrenador europeo del maíz a comienzos del verano, pero no lo era cuando ya estaba avanzado el ciclo del insecto. Se estimó que la superficie sembrada con variedades *Bt* 176 constituía el 2% del total en el 2000 y declinó al 1% en 2001. En el otoño de 2001 se dejó de llevar el registro se suspendió este tipo de maíz (Colorado State University, 2002b).

Existen otros productos MG, como una variedad de soya de mejor calidad nutricional y una bacteria, *Klebsiella planticola*, que no fueron liberados comercialmente debido a que en la fase de evaluación mostraron problemas potenciales para el ambiente y para la salud: a la soya, investigada por DuPont®, se le introdujo un gen de la nuez de Brasil con el fin de mejorar su calidad nutricional. Los resultados de las pruebas clínicas de la proteína arrojaron resultados positivos de alergenicidad de la soya resultante del proceso. Igualmente, estudios preliminares de la Universidad de Nebraska, financiados por Pioneer®, también sugirieron la posibilidad de alergenicidad de esta soya mejorada. En 1993, Pioneer Hi-Bred International® — en la actualidad una empresa de DuPont® — suspendió la investigación para introducir el gen de la nuez de Brasil a un tipo de soya. DuPont® invirtió en otro método que usaba proteínas de girasol. Sin embargo, cuando las pruebas indicaron un importante riesgo de alergenicidad, este proyecto fue también discontinuado (DuPont®, 2002).

En el estudio con *Klebsiella planticola* (Estados Unidos) se manipuló genéticamente esta bacteria, para que fuera capaz de digerir restos agrícolas y madereros produciendo etanol (17%) y sedimentos minerales (83%). Se suponía que

los restos minerales del proceso podrían emplearse como compost y fertilizar el suelo. En 1992 la EPA estaba a punto de aprobar la liberación al medio ambiente de esta bacteria transgénica, cuando un estudiante, Michael Holmes, (citado por Riechman, 2002) de la Universidad de Oregón, eligió realizar su trabajo de doctorado sobre los efectos de esta bacteria en las plantas del suelo. Holmes comprobó que el suelo abonado con este compost presentaba efectos nocivos para el crecimiento vegetal. Las semillas morían cuando brotaban. La investigación mostró que esta *Klebsiella* MG compitió con los microorganismos naturales del suelo, y en particular lesionaba las micorrizas, asociación de hongos con las raíces de las plantas que favorecen notablemente la nutrición de éstas. Como resultado de este estudio no fue aprobada la liberación de la bacteria.

CAPÍTULO 2

RIESGOS POTENCIALES DE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS OMG

Hablar de los posibles riesgos de los OMG es como encender el debate que actualmente existe en el mundo sobre estos organismos. Existen dos posiciones claras y radicales definidas por Grant (2002) como la racionalidad científica y la racionalidad social, las cuales argumentan los beneficios y/o los riesgos que pueden tener los cultivos MG o sus derivados. Las dos posiciones, no necesariamente se deben dividir como lo hace Grant, pero este esquema puede servir para ilustrar el debate.

Según Grant, la racionalidad social (la oposición a los organismos manipulados genéticamente), sostiene que los OMG pueden presentar riesgos sobre la salud, riesgos ambientales y riesgos socioeconómicos. La obtención de plantas mediante transformación genética difiere radicalmente del mejoramiento convencional y esta es una de las razones por la que los opositores cuestionan los beneficios de los OMG. Para la racionalidad científica, aunque se evalúan los mismos efectos potenciales, se considera que algunos de los riesgos expuestos por su contraparte, son fenómenos naturales que han sucedido durante millones de años y han hecho posible la evolución de la vida en la tierra; además argumentan que dichos riesgos son los mismos que se darían con el uso de la agricultura convencional. De manera que los posibles riesgos que se exponen en este capítulo, pueden ser considerados como riesgos o como fenómenos naturales.

La primera construcción quimérica se realizó en 1972 asociando el DNA de un virus de mono y un fragmento de plásmido bacteriano. El propio Paul Berg, autor de estos trabajos (Mater y Truffaut, 2002), quien fue profesor de bioquímica en la Universidad de Stanford en 1959, reconocido posteriormente en la Academia Nacional de Ciencias por describir el proceso mediante el cual el DNA forma proteínas y recompensado con el premio Nóbel de Química en 1980, se preguntó muy

pronto por el peligro de tales construcciones: ¿son susceptibles estas técnicas de recombinación de hacer aparecer nuevas bacterias virulentas para el hombre? Antes de recibir el Nobel, la Academia Nacional de Ciencias también cuestionó sobre la seguridad de las investigaciones con la tecnología del DNA recombinante. Berg respondió a esto mediante una conocida carta dirigida a dicha academia, en la cual pedía una moratoria en las investigaciones relacionadas con el DNA recombinante hasta que se establecieran pautas de seguridad. Posteriormente se realizó un foro internacional de la tecnología del DNA recombinante, la Conferencia de Asilomar, California, presidida por Paul Berg, en febrero de 1975 a la cual asistieron cientos de científicos para discutir los riesgos potenciales de estos experimentos, para establecer reglas de seguridad en materia de ingeniería genética (Stanley Rice, 2002). Aunque estas reflexiones estaban restringidas entonces a solamente la comunidad científica, el debate se generalizó después y ahora debe involucrar a los actores económicos y políticos, a los consumidores y a la sociedad en general. En especial, la llegada programada de organismos genéticamente modificados a los campos y a las mesas, ha hecho que surjan nuevos interrogantes sobre posibles impactos tales como: el riesgo ambiental con la diseminación de genes modificados en la naturaleza, la aparición de especies u organismos resistentes a herbicidas, la posible reducción de la biodiversidad, y el riesgo alimentario de tipo toxicológico y alérgico (Mater y Truffaut 2002).

Una de las preocupaciones de los OMG se refiere a los riesgos sobre el ambiente que se pueden derivar del uso de esta tecnología. Dentro de los riesgos ambientales se incluye: el flujo de genes desde los cultivos hacia las malezas, hacia las especies silvestres relacionadas, o hacia las variedades locales, la creación de súper malezas, la presencia de genes de resistencia a antibióticos, la persistencia de proteínas transgénicas en el suelo, la inquietud sobre reducción del uso de plaguicidas.

2.1. Transferencia de genes

Se puede hablar de transferencia génica horizontal y transferencia génica vertical. La primera se refiere a la transferencia de genes del organismo modificado hacia otras especies no relacionadas, incluidos los microorganismos, y la segunda se refiere a la transferencia de genes entre los individuos pertenecientes a la misma especie o especies cercanas filogenéticamente.

2.1.1. Introgresión de OMG hacia las malezas relacionadas: creación de súper malezas

La introgresión es una forma de transferencia génica horizontal. Es un fenómeno natural que se refiere a la posibilidad de hibridización entre un cultivo y la misma especie, o las especies silvestres relacionadas durante la producción de semillas. Una de las preocupaciones de los cultivos MG es que desarrollen características de malezas, lo cual usualmente, está relacionado con su posibilidad de hibridización con especies cercanas. El hecho de que una especie se comporte como maleza, está relacionado con su habilidad de crecer adecuadamente en un nuevo ambiente y de presentar características de agresividad y competitividad. Las malezas se adaptan a lugares intervenidos debido a estrategias que han desarrollado durante su historia de vida. La plasticidad fenotípica que caracteriza a las malezas, les permite adaptarse constantemente a hábitats cambiantes (Conner *et al.*, 2003).

Una de las preocupaciones relacionadas con la posibilidad de hibridización de los cultivos MG con especies relacionadas, es que ésta resulte en el flujo de transgenes a malezas relacionadas. En el caso de los cultivos MG resistentes a plaguicidas, enfermedades y herbicidas, es probable que la introgresión resulte en una mayor adaptación y supervivencia de la planta y una dispersión de la maleza. Esto puede causar una invasión de los hábitats naturales y comprometer los valores de biodiversidad de estos hábitats. El potencial que tiene un cultivo para hibridizarse con una maleza depende de la compatibilidad sexual entre las dos especies. Es posible que en muchos casos, las combinaciones híbridas no se desarrollen en la naturaleza debido a las barreras que existen entre las especies relacionadas que se

cruzan. La ocurrencia de híbridos intergenéricos e interespecíficos como resultado de una hibridación manual, más el uso de estrategias biotecnológicas sólo demuestran que existe compatibilidad sexual y potencial de hibridación en la naturaleza. Por otra parte, la introgresión de un gen de una especie a otra o de un cultivo a una maleza o a especies relacionadas, también depende (y además, requiere) de cruzamientos repetitivos para incorporar los alelos de un grupo de genes de una población a otra población receptiva. De tal manera que la posibilidad de que exista introgresión desde un cultivo a una maleza, depende también de la persistencia de los genes a través de varias generaciones. De acuerdo con lo anterior, muchas combinaciones de cultivos y especies del mismo género tienen poca posibilidad de hibridarse naturalmente y resultar en la introgresión y establecimiento de transgenes en poblaciones naturales (Conner *et al.*, 2003).

Sin embargo, esta situación es motivo de preocupación debido a que existen evidencias que indican que tales intercambios genéticos entre malezas silvestres y cultivos ya han ocurrido. La incidencia de *Sorghum bicolor*, una maleza emparentada con el sorgo y el flujo genético entre el maíz y el teocintle demuestran el potencial de los cultivos relacionados a volverse malezas. Esto es preocupante dado que varios cultivos en los Estados Unidos son cultivados en proximidad con sus parientes sexualmente compatibles. Hay también cultivos que crecen en las proximidades de malezas silvestres que no son parientes cercanos pero pueden tener algún grado de compatibilidad cruzada tales como los cruces de *Raphanus raphanistrum* con *R. sativus* (rábano) y de *Sorghum halepense* con sorgo, *Sorghum spp* (Altieri, 2002).

Otra inquietud sobre la hibridación de los cultivos MG con las malezas relacionadas, es la probabilidad de que éstas adquieran características que deseáramos que no tuvieran, tales como la resistencia a los herbicidas (Colorado State University, 2002d). Está documentado que cuando un mismo herbicida es aplicado repetidamente sobre un cultivo, se incrementan las oportunidades de que se desarrolle resistencia al herbicida en la población de malezas (Holt *et al.*, Citado por Altieri, 2002), debido a la presencia permanente de una presión de selección. Las sulfonilureas y los imidazolinones han mostrado ser particularmente propensos a la

evolución rápida de malezas resistentes, y se conocen hasta catorce especies de malezas que presentan resistencia a los herbicidas del sulfonilurea. *Cassia obtusifolia* una maleza agresiva en la soya y el maíz en el sudeste de los Estados Unidos ha presentado resistencia o tolerancia a los herbicidas del imidazolin (Goldburg, citado por Altieri, 2002).

Los resultados de algunas investigaciones indican que las características de los cultivos MG pueden escapar del ámbito agrícola y persistir en las poblaciones silvestres aledañas. Los genes que proporcionan una ventaja competitiva, como la resistencia a las enfermedades virales, podrían beneficiar a las poblaciones de malezas y plantas en general, que circundan un campo de cultivo. Muchos cultivos tienen parientes silvestres sexualmente compatibles, con los cuales se cruzan en condiciones favorables. Las probabilidades de que se transfieran los transgenes pueden ser diferentes para cada cultivo en cada zona del mundo. Por ejemplo, no hay parientes silvestres del maíz en Estados Unidos o Europa con los cuales pudiera cruzarse el maíz transgénico, pero sí existen esos parientes silvestres en México y en Centroamérica hacia el sur (Colorado State University, 2002d).

El problema potencial es que, dada la presión de la industria para aumentar las ventas de herbicidas, la superficie tratada con herbicidas de amplio espectro se extenderá, exacerbando el problema de resistencia. Por ejemplo, se ha proyectado que la superficie tratada con glifosato aumentará a casi 100 millones de hectáreas. Aunque el glifosato es considerado menos propenso para que se desarrollen resistencias, el aumento en el uso del herbicida, ha producido aparición de resistencia en malezas, aunque más lentamente, como se ha documentado en poblaciones de Raygrass anual, Quackgrass, Birdsfoot trefoil y en especies de *Cirsium* (Agalla, citado por Altieri, 2002).

El desarrollo de poblaciones de malezas con resistencia a herbicidas no es una situación nueva para la agricultura, teniendo en cuenta que las plantas resistentes a los herbicidas también han sido desarrolladas por métodos tradicionales de cultivos (Conner *et al.*, 2003). Por las razones anteriores, y según las condiciones de la zona, la liberación de plantas con un gen de resistencia a herbicidas puede ser considerada

inaceptable, si la planta se puede cruzar libremente con especies relacionadas que puedan generar el desarrollo de la resistencia al herbicida en dichas especies (Henry, 2000).

Las compañías afirman que los herbicidas bromoxynil y glifosato, cuando son aplicados adecuadamente se degradan rápidamente en el suelo, no se acumulan en las aguas subterráneas, no tienen efectos agudos en organismos y no dejan residuos en los alimentos. Sin embargo, para Altieri (2002), existe evidencia de que el bromoxynil puede causar defectos de nacimiento en animales de laboratorio, puede ser tóxico para los peces y puede causar cáncer en humanos. Debido a que el bromoxynil es absorbido por vía dermatológica, y porque causa defectos de nacimiento en roedores, es probable que también presente riesgos para los agricultores y el personal del campo. Similarmente se ha informado que el glifosato puede ser tóxico para algunas especies de invertebrados que habitan en el suelo, incluyendo a predadores benéficos como arañas y carábidos, y especies detritívoras como lombrices de tierra, y para los organismos acuáticos, incluso los peces (Pimentel *et al.*, citado por Altieri, 2002). En la medida en que los estudios verifican la acumulación de residuos de este herbicida en las frutas y tubérculos, al sufrir poca degradación metabólica en las plantas, emergen también preguntas sobre la seguridad de los alimentos con trazas de estos herbicidas.

2.1.2. Transferencia horizontal de genes

La transferencia génica horizontal (TGH) está definida como la transferencia del material genético de un organismo (donador) a otro organismo (receptor) que no es compatible sexualmente con el primero (Conner *et al.*, 2003). Una preocupación relacionada con la TGH es la transferencia de la resistencia a antibióticos en el ambiente y en la población de microorganismos del suelo. Existen cultivos transgénicos resistentes a infecciones patógenas o a virus. Aunque el uso de genes para la resistencia a virus en cultivos ha demostrado beneficios, pueden presentarse algunos riesgos. La recombinación entre el ARN del virus y un ARN viral presente en el cultivo transgénico podría producir un nuevo patógeno. Es posible que ocurran

recombinaciones en las plantas transgénicas y que bajo ciertas condiciones se obtenga una nueva raza viral con un rango alterado de huéspedes (Steinbrecher, citado por Altieri, 2002). La variación de condiciones es muy alta, por tanto es muy difícil predecir la probabilidad de recombinación. Se han realizado ensayos sobre recombinación entre virus, en condiciones de laboratorio, los cuales han demostrado que se requiere que ocurran diversas circunstancias para que el evento de recombinación se presente. Las cepas nuevas originadas de la recombinación con transgenes han mostrado propiedades nuevas como nuevo rango de hospederos que pueden infectar, en la patogenicidad y en la mayoría de los casos han mostrado estar menos adaptados, bajo condiciones experimentales, que el virus original (García-Arenal *et al.*, 2000).

Igualmente, existe inquietud por la posibilidad de que las plantas transgénicas cultivadas en el campo transfieran sus genes de resistencia a antibióticos a los microorganismos del suelo, con lo cual se produciría un aumento general del grado de resistencia a los antibióticos en el medio ambiente. Sin embargo, muchos organismos del suelo tienen ya presente una resistencia natural que se produce como defensa contra otros organismos que generan antibióticos y, por lo tanto, no es probable que el aporte ocasional de genes de las plantas transgénicas cause una modificación importante del grado de resistencia a los antibióticos ya existente en el medio ambiente (Colorado State University, 2002d).

2.2. La reducción del uso de plaguicidas

Uno de los argumentos más convincentes a favor de las plantas transgénicas es su potencial de reducir el daño que se causan al medio ambiente con los métodos agrícolas tradicionales. Se ha fomentado el empleo de cultivos resistentes a las plagas como el maíz *Bt* y el algodón *Bt* como una forma de reducir el uso de insecticidas, mientras que se dice que los cultivos tolerantes a los herbicidas, como las sojas RoundupReady, disminuyen la necesidad de aplicar herbicidas. Se ha informado sobre reducciones en el uso de sustancias químicas como resultado de la introducción de estas variedades transgénicas. ¿Son ciertas estas afirmaciones? El

algodón *Bt*, en algunas situaciones, es el único caso en el cual es evidente el efecto de reducción de las aspersiones. Los analistas presentan un panorama variado de los resultados de la siembra de sojas RoundupReady. En estudios de caso presentados en Estados Unidos por Traynor *et al.*, (2002) se informa que el porcentaje de reducción de herbicida utilizado en soya transgénica Roundup Ready (RR) es 24.25% menor comparado con la mejor variedad convencional en las áreas de estudio. El maíz *Bt* y el algodón tolerante a los herbicidas no han provocado disminuciones claras de las aplicaciones con sustancias químicas (Colorado State University, 2002d).

2.3. La liberación de los productos del transgén al suelo

Las plantas liberan compuestos químicos al suelo a través de sus raíces. Hay inquietudes acerca de que las plantas transgénicas pudieran liberar compuestos como el producto del gen introducido, el cual es diferente de los de las plantas tradicionales. Se presenta preocupación de que este nuevo producto afecte en forma diferente a las comunidades de microorganismos cercanos a las plantas transgénicas. La interacción entre las plantas y los microorganismos del suelo es muy compleja y los microorganismos que se encuentran cerca de las raíces también dejan escapar compuestos orgánicos al suelo. Se debe realizar mayor investigación para poder comprender las relaciones que existen entre los microorganismos y los cultivos tradicionales. Se requiere intensificar los estudios sobre interacciones con el fin de evaluar si las plantas transgénicas están modificando el suelo, y si las modificaciones son benéficas o nocivas (Colorado State University, 2002d).

En cultivos transgénicos *Bt*, las toxinas de *Bt* pueden incorporarse al suelo a través del material vegetal que se descompone y pueden persistir durante varias semanas, resistiéndose a la degradación ligándose a las partículas de arcilla mientras mantienen la actividad de la toxina (Palm *et al.*, citado por Altieri, 2002). Tales toxinas de *Bt* que terminan en el suelo y el agua proveniente de los desechos de cultivos transgénicos pueden tener impactos negativos en los organismos del suelo y en los invertebrados acuáticos así como en el proceso de reciclaje de nutrientes

(James, citado por Altieri, 2002). Todos estos aspectos merecen una investigación más profunda.

2.4. Posibles riesgos asociados con los cultivos *Bt*

2.4.1. Resistencia de los insectos a la toxina *Bt*

Según la industria, los cultivos transgénicos, resistentes a insectos, que contienen genes de *Bt*, pueden reemplazar el uso de insecticidas químicos en el control de plagas de insectos. Puesto que la mayoría de los cultivos presentan una diversidad de plagas de insectos, los insecticidas todavía tendrán que ser aplicados para controlar las plagas diferentes a aquellas susceptibles a las endotoxinas expresadas por el cultivo en cuestión (Gould, citado por Altieri 2002).

Se tiene conocimiento de que varias especies de lepidópteros han desarrollado resistencia a la toxina de *Bt* en ensayos de campo y de laboratorio, sugiriendo la posibilidad de que los mayores problemas de resistencia se pueden desarrollar en cultivos transgénicos donde la expresión continua de la toxina crea una fuerte presión de selección (Altieri, 2002). Se cita un ejemplo del efecto ambiental causado por el uso masivo de la toxina de *Bt* en algodón u otro cultivo que ocupe una superficie del agroecosistema. Se refiere a que los agricultores vecinos con cultivos diferentes al algodón, pero que comparten complejos similares de plagas, pueden terminar con poblaciones de insectos resistentes o tolerantes colonizando sus campos. Es posible que plagas de Lepidóptera que desarrollan resistencia al *Bt* en algodón, se muevan a los campos adyacentes donde los agricultores usan *Bt* como un insecticida microbiano, como sistema de control biológico, dejando así a los agricultores indefensos contra tales plagas (Gould, citado por Altieri, 2002).

2.4.2. Impactos de la toxina *Bt* sobre otros organismos

Conservando la población de plagas a niveles sumamente bajos, los cultivos *Bt* pueden generar necesidad de consumo de recurso por parte de los enemigos naturales (o insectos benéficos del cultivo) en la medida que éstos necesitan una presencia mínima de sus presas para sobrevivir en el agroecosistema. Los enemigos

naturales podrían afectarse directamente a través de las interacciones a niveles intertróficos. Altieri (2002), cita estudios realizados en Escocia que sugieren que los áfidos son capaces de retener la toxina del cultivo *Bt* y transferirla a sus predadores (coccinélidos), a su vez afectando la reproducción y la longevidad de los coccinélidos benéficos. La posibilidad de que las toxinas de *Bt* se muevan a través de las cadenas alimenticias presenta serias implicaciones para el control biológico, realizado por el hombre, en agroecosistemas (Altieri, 2002).

2.5. Impacto de los cultivos MG en la biodiversidad

El punto central de este aspecto es el temor por la pérdida o reducción de biodiversidad causada por los cultivos MG. El Convenio de Diversidad Biológica CDB define la biodiversidad como la variabilidad dentro de los organismos vivos de todas las fuentes incluyendo ecosistemas terrestres, acuáticos y los complejos ecológicos del cual ellos hacen parte, así como la diversidad de genes. Esto incluye la diversidad de las especies y de los ecosistemas. Sin embargo, se han presentado diferentes definiciones de biodiversidad, aunque la más comúnmente usada se refiere a “riqueza de especies” (entendida como número de especies en un determinado lugar). Una conclusión importante de los numerosos intentos para cuantificar la biodiversidad, es que a nivel genético, cada organismo vivo es esencialmente único (Conner *et al.*, 2003).

Existen temores con respecto a la influencia de los cultivos MG en la biodiversidad, especialmente relacionados con el impacto ecológico que causan las plantas MG. Los cultivos MG podrían amenazar los centros de diversidad de cultivos o promover la presencia de una flora diferente, en detrimento de la especie nativa, incrementando el potencial de la tasa de extinción. Esta preocupación está relacionada con la hibridización natural de cultivos MG y sus especies relacionadas. Algunas especies “genéticamente agresivas” pueden “invadir” otra especie a través de ciclos repetitivos de hibridización e introgresión causando su extinción (Conner *et al.*, 2003).

En la actualidad, muchos recursos genéticos vitales para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria en el futuro, se encuentran amenazados. De manera particular, es preocupante la pérdida irreversible de genes, unidad funcional básica de la herencia y fuente primordial de la variación del aspecto, las características y el comportamiento de las plantas. También pueden perderse complejos de genes y especies, que en la práctica se convierten en extintos, así como variedades de plantas (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 1998). Según el Instituto Alexander Von Humboldt (1998), la principal causa contemporánea de la pérdida de la diversidad genética ha sido la generalización de la agricultura comercial moderna. La consecuencia es que los agricultores dejan de cultivar las variedades tradicionales, que poseen una elevada diversidad, para dar paso a variedades más homogéneas, más rentables y más aceptables en términos comerciales. Según datos de la Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura, FAO, en el último siglo por ejemplo, se ha perdido 75% de la diversidad genética global de las especies cultivadas, como resultado de la agricultura comercial moderna y el mejoramiento convencional basado en la producción de híbridos y variedades homogéneas de la agricultura convencional.

Existen diversas interpretaciones sobre el aporte que hace la manipulación genética entre especies diferentes, respecto al papel que desempeña en la conservación e incremento de la diversidad agrícola. Para los biotecnólogos la transferencia de genes entre especies diferentes permite aumentar la diversidad genética de los cultivos o de las plantas, puesto que los genes “nuevos” introducidos aumentan el acervo genético de la especie receptora. Sin embargo, para algunos grupos de agricultores y para los ambientalistas, la introducción de genes foráneos a una especie determinada es un factor que contribuye a la pérdida de la identidad genética de la especie y de las variedades nativas que tuvieron un proceso de evolución y adaptación armónica con las características ecológicas, culturales y productivas de la especie en cada una de las regiones de donde son originarias.

2.6. Posibles efectos sobre la salud humana

2.6.1. Alergenicidad

Todos los alimentos, ya sean elaborados mediante métodos convencionales o por biotecnología, son fuentes potenciales de alérgenos. En todo el mundo, el 90% de las alergias a alimentos se debe a ocho grupos de alérgenos principales presentes en maní, soya, nueces, leche, huevos, pescado, crustáceos (por ejemplo, los camarones) y trigo. El 10% restante son alergias a alimentos que afectan a muy pocas personas, incluso a veces a una sola. Alrededor de 180 alimentos están incluidos en esta categoría de alérgenos menores (Du Pont, 2002).

La posibilidad de que pudiera producirse un aumento de la cantidad de reacciones alérgicas a los alimentos como resultado de la modificación genética tiene un poderoso ascendente emocional porque muchos de nosotros experimentamos este problema antes del advenimiento de los cultivos transgénicos, o conocemos a alguien que sufrió el problema. Sin embargo, hasta el momento no hay pruebas de que los alimentos genéticamente modificados puedan causar más reacciones alérgicas que los alimentos tradicionales (Colorado State University, 2002d). Las alergias a alimentos son un tema pertinente a los productos elaborados mediante la biotecnología, ya que estos mejoramientos a menudo suponen la adición o el cambio de genes. Los genes codifican para proteínas y casi todos los alérgenos alimentarios son proteínas. Nuestra dieta contiene cientos de miles de proteínas, pero muy pocas proteínas (cerca de 200) pueden ocasionar alergias alimentarias. Por lo tanto, en los productos biotecnológicos se evalúa la posible alergenidad antes de que éstos sean comercializados (Du Pont, 2002)

Las pruebas realizadas hasta el momento con docenas de alimentos transgénicos para determinar su alergenidad, han detectado solamente una soya con potencial alérgico, la cual nunca fue comercializada. El debatido caso del maíz *StarLink*, el cual, fue aprobado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en 1998, exclusivamente para alimentación animal, y no para consumo humano, debido a que la proteína *Cry 9c* que contiene este maíz, comparte propiedades moleculares

con proteínas que se saben que son alérgicas (Oficina de Programas de Información Internacional del Departamento de Estados Unidos, 2001). Si bien los resultados preliminares indican que el maíz *StarLink* probablemente no sea alergénico, continúa el debate científico y el hecho es que fue retirado del mercado (Colorado State University, 2002d).

2.6.2. La transferencia horizontal y la resistencia a los antibióticos

La resistencia a antibióticos se puede presentar mediante un fenómeno común en la naturaleza denominado transferencia génica horizontal (TGH). La TGH entre especies bacteriales es particularmente común cuando involucran plásmidos y transposones. Inicialmente, el debate sobre TGH de cultivos MG se basó en la presencia de los genes marcadores utilizados en la construcción genética de la planta transgénica, los cuales con frecuencia han sido de resistencia a antibióticos. Alguna mutación asociada con la TGH entre bacterias, sumada al mal uso que los pacientes han hecho de las terapias de prescripción médica durante años, ha estimulado el desarrollo de resistencia generalizada hacia los antibióticos hasta tal punto, que el uso de éstos como agentes de terapia se está viendo seriamente comprometido. Existe la inquietud de que la presencia de genes que confieren resistencia a antibióticos en los cultivos MG podría aumentar los problemas ya existentes con las bacterias resistentes a la droga en terapia humana (Conner *et. al* 2003).

Uno de los genes de selección más comúnmente utilizado en la última década ha sido el *nptII* el cual causa resistencia al componente antibiótico higromicina contenido en la kanamicina, neomicina y otros (capítulo 1). De acuerdo con FDA (1998), para su evaluación se tienen en cuenta aspectos de toxicidad, reacciones alérgicas y las implicaciones sobre las terapias de antibióticos. Sin embargo también se debe tener en cuenta que la neomicina y la kanamicina son antibióticos utilizados con baja frecuencia y son pocas veces administrados por vía oral. Sólo el 36% de la kanamicina o la neomicina administrada fue para uso oral o gastrointestinal.

Adicionalmente, existe preocupación por la ingestión de los alimentos producto de las plantas transgénicas, debido a que éstas contienen DNA exógeno

(proteínas). Debe recordarse que las proteínas se degradan rápidamente y se inactivan durante el proceso de digestión a causa de los ácidos estomacales y de las enzimas digestivas. Esto significa que el DNA (sea proveniente de plantas transgénicas o no) es digerido eficientemente. La FDA (1998), ha establecido que las enzimas de *nptII* cambian ante la exposición al calor y no presentan ninguna de las características asociadas con proteínas alérgicas y concluye que no existen preocupaciones de alergenicidad o toxicidad por la ingestión de tal enzima. Adicionalmente, *nptII* requiere ATP para catalizar la inactivación del antibiótico (kanamicina o neomicina), se conoce que sólo una pequeña cantidad de éste (no más del 1.5%) podría ser inactivado. Sin embargo, la FDA (1998) concluye que la presencia de *nptII* en los alimentos no compromete la terapia de uso de los antibióticos (kanamicina y neomicina) administrados por vía oral.

2.6.3. El promotor del virus del mosaico de la coliflor

El promotor más ampliamente utilizado en el proceso de obtención de una planta transgénica, hasta ahora, es el 35S del virus del mosaico de la coliflor (CaMV), o promotor 35S. Este virus causa la enfermedad del mosaico de la coliflor en varias hortalizas, como la coliflor, el brócoli, la col y la canola. Una preocupación planteada es que el promotor CaMV podría ser dañino si nos invadiera las células y nos activara los genes. Para que el promotor CaMV escape del proceso normal de descomposición digestiva, penetre en una célula del organismo y se inserte en un cromosoma humano deben producirse múltiples acontecimientos escalonados. Los experimentos con ratones indican que las defensas normales del organismo eliminan los fragmentos dispersos de ADN extraño que se integran en el torrente sanguíneo desde el tubo digestivo, aunque no se han realizado pruebas para determinar si el promotor CaMV ha invadido tejidos humanos. Existen algunas pruebas de que el promotor CaMV representa muy poca amenaza para la salud humana. Por otra parte, la humanidad ha estado ingiriendo el virus completo en pequeñas cantidades por cientos de años al consumir hortalizas que están infectadas con esta enfermedad. Si bien las hortalizas muy infectadas con CaMV son poco apetitosas, no se ha

documentado ningún efecto negativo sobre la salud resultante de ingerir el virus o su promotor (Colorado State University, 2002d).

2.7. Implicaciones sociales y económicas

Durante milenios, los agricultores han desarrollado cultivos de diferentes plantas y han producido variedades adaptadas a sus necesidades. Observaron en qué condiciones prosperaban las variedades, y seleccionaron para plantar en mayores extensiones o mejorar más aquellas que presentan características deseadas (mayor resistencia a las plagas o adaptación a las condiciones locales del suelo). Esta práctica agrícola, en parcelas pequeñas y medianas, es común entre los campesinos de todo el mundo (GRAIN/RAFI, 2000). Un ejemplo de selección bajo estos métodos, son los avances del mejoramiento genético del trigo. Hace aproximadamente diez mil años, se produjo la domesticación agrícola, en el Próximo Oriente, del trigo duro (*Triticum turgidum*) y la cebada (*Hordeum vulgare*). Aproximadamente cinco mil años después apareció el trigo harinero (*T. aestivum*), a partir del cruzamiento entre el trigo duro cultivado (*T. turgidum*) y *Aegilops tauschii* que es una especie silvestre (Barceló & Cabrera, 2001).

En las últimas décadas los agricultores han adoptado los métodos industrializados de cultivar la tierra, en particular el uso de insumos externos como los fertilizantes químicos, los plaguicidas y las semillas comerciales. El trabajo de investigación sobre mejoramiento de semillas en el que se han basado los sistemas agrícolas se ha trasladado a instituciones privadas. Uno de los órganos creados para este propósito fue el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR por su sigla en inglés). El control del programa de investigación del Grupo depende en gran medida de las directrices fijadas por la FAO, el Banco Mundial, los 16 Centros Internacionales de Investigaciones Agrícolas, CIIA, y la Comisión de Asesoramiento Técnico (CAT) del Grupo. En Colombia, por ejemplo, tenemos al Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, que forma parte del CGIAR y sus investigaciones están bajo sus lineamientos (GRAIN/RAFI, 2002).

Los orígenes del CGIAR se remontan hacia la década de 1940 y 1950 cuando se puso en evidencia la preocupación ante el rápido aumento del crecimiento demográfico con relación a la disponibilidad de alimentos. La Fundación Rockefeller empezó a respaldar un programa de mejoramiento del trigo en México. En 1962, ya habían aparecido las primeras variedades mexicanas de trigo de alto rendimiento y en 1966 ya ocupaban más del 95% de la superficie cultivada con trigo en México. En 1963, Norman Borlaug, el científico responsable de la creación de esos nuevos cultivos, viajó a Pakistán y la India para repetir el mismo método. En 1967, los nuevos trigos pakistaníes estaban listos para la venta, mientras que las cepas mexicanas superaron el rendimiento de las variedades indias en un 30%. De manera similar ocurrió en Asia, a principios de la década de 1960, en donde la Fundación Rockefeller se unió a la Fundación Ford para establecer en Filipinas el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz, IRRI (GRAIN/RAFI, 1996). Esta tendencia muestra que las empresas privadas de semilla han desplazado a los organismos públicos y a las organizaciones estatales que antes producían la mayor parte de las semillas (Morrays y López, 2000).

La industria semillera, con el fin de lograr este desarrollo, ha influido en las actividades de investigación y desarrollo de los centros de investigación. Para el caso del maíz, particularmente en los países industrializados, de acuerdo con el CIMMYT, sólo un 20% de los fitomejoradores de maíz trabajan en el sector público. La importancia del sector privado en las actividades de investigación queda reflejada en el hecho de que, según FAO, de todos los Centros Internacionales de Investigación Agrícola, el CIMMYT es el que ha destinado los mayores porcentajes de duplicados de muestras de semillas, a los países del Norte y al sector privado, 72% y 8% respectivamente (GRAIN/RAFI, 1996). Este hecho muestra la reorientación de la investigación hacia el sector privado.

CAPÍTULO 3

PROTOCOLO DE BIOSEGURIDAD, LEGISLACIÓN EN COLOMBIA Y MANEJO DE RIESGOS

3.1. Definición de Bioseguridad

La bioseguridad es un término bastante amplio. En el presente contexto, FAO (2003) lo refiere al desarrollo de instrumentos para el estudio de los posibles efectos adversos del uso de Organismos Vivos Modificados OVM, con el fin de garantizar la salud, el medio ambiente y la seguridad alimentaria (producción agropecuaria): se refiere a la PREVENCIÓN de posibles perjuicios resultados de la actividad humana. Por Bioseguridad se entiende el conjunto de políticas, normas y procedimiento que se adoptan con el fin de garantizar la seguridad en las aplicaciones de la biotecnología (Persley *et al.*, 1993). La bioseguridad tiene en cuenta los siguientes elementos: evaluación y gestión científica de riesgo, la valoración de incertidumbres en los datos científicos, análisis de costo/beneficio, el costo de no uso, consideraciones éticas y socioeconómicas, criterio o juicio discrecional y la definición de acciones o alternativas.

3.2. Protocolo de Bioseguridad

La producción de alimentos genéticamente modificados ha generado preocupaciones entre los consumidores y fuertes debates en el ámbito internacional. Estas preocupaciones se refieren a los posibles impactos de los OMG en el ambiente, en la salud y en los aspectos socioeconómicos. Para manejar y evaluar los posibles riesgos de los OMG se formuló el Protocolo de Bioseguridad, que involucra a todos los países que hacen parte del Convenio de Diversidad Biológica, con el fin de establecer mecanismos de control de los riesgos e impactos que puede generar la investigación, la transferencia, manejo, uso y liberación de OMG, producto de la biotecnología.

El desarrollo de las técnicas de la moderna biotecnología, trajo consigo un inusitado aumento del valor estratégico y económico de los recursos genéticos, junto con la promulgación de marcos regulatorios internacionales, como el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), propuesto en el marco de la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992. Esta reunión modificó los parámetros tradicionales bajo los cuales se consideraba a los recursos genéticos como “patrimonio común de la humanidad” y los situó como patrimonio de los estados, asignándoles a éstos el deber y la responsabilidad por su cuidado y preservación (Aramendis & Hodson, 1999).

Uno de los objetivos asignados al CDB fue adoptar un Protocolo de Bioseguridad que internacionalmente comprometiera a todos los países que son partes del convenio, con el fin de establecer mecanismos de control de los riesgos e impactos que puedan generar la transferencia, manejo, uso y liberación de organismos vivos modificados OVM también conocidos como organismos genéticamente modificados OMG, producto de la biotecnología. Los artículos 6 y 14 de este Convenio disponen respectivamente, que cada país elaborará planes sobre conservación y uso sostenible de la biodiversidad y establecerá procedimientos apropiados para exigir la evaluación de impacto ambiental con el fin de reducir o evitar los efectos degradantes sobre la biodiversidad (Convention on Biological Diversity, 1992).

El CDB firmado en Río de Janeiro en 1992 fue ratificado por Colombia mediante la Ley 165 de 1994, la cual reconoció explícitamente la importancia de establecer medidas de bioseguridad; es decir mecanismos para evitar o minimizar los impactos negativos de la biotecnología en la biodiversidad (Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt, 1999).

El CDB es mandatario (jurídicamente vinculante) para las Partes. En su artículo 19.3, considera la necesidad y modalidades de un Protocolo que establezca procedimientos en el campo de la transferencia, manipulación y uso de organismos vivos modificados (OVMs) y sus componentes que puedan tener efectos adversos sobre la biodiversidad. Con el fin de estudiar el desarrollo del Artículo 19.3 del CDB

y realizar las recomendaciones correspondientes a la Conferencia, la Primera Conferencia de las Partes del CDB organizó un grupo de 15 expertos que se reunieron en 1995 en el Cairo, Egipto. Allí se manifestó la necesidad de desarrollar el Protocolo, y se definieron unos campos de acción que debían entrar en su órbita de regulación. Este documento fue duramente criticado ya que menospreciaba los riesgos de la ingeniería genética. Un Informe Alternativo de Expertos Independientes, preparado por científicos de Estados Unidos, el Reino Unido, Alemania e India, criticaba el informe de El Cairo por no tener en cuenta las crecientes pruebas y conclusiones científicas recientes sobre los riesgos potenciales de la industria biotecnológica que manipula la ingeniería genética. Otros aspectos del documento que fueron criticados se refieren a los procedimientos de prueba y los métodos de evaluación de riesgos, la exclusión de la supervivencia de los OMG luego de la descarga de fango y agua residual del uso en confinamiento y las reglamentaciones inadecuadas del principio de familiaridad, principalmente. La Segunda Conferencia de las Partes del Convenio, con los resultados arrojados por el panel de expertos, decidió entonces establecer un grupo de trabajo de carácter *ad-hoc* de composición abierta, BSWG, con el fin de trabajar en el Protocolo. En este espacio de negociación podrían intervenir todas las Partes en el Convenio en el desarrollo de la temática del nuevo instrumento jurídico. Se realizaron más de seis reuniones del BSWG: Aarhus, 22 al 26 de julio de 1996; Montreal, 2 al 16 de mayo de 1997; Montreal, 13 al 17 de octubre de 1997; Montreal, 5 al 13 de febrero de 1998; Montreal, 17 al 28 de agosto de 1998; Cartagena, 14 al 23 de febrero de 1999. En el encuentro que se llevó a cabo en Cartagena, Colombia del 14 al 23 de febrero de 1999, las negociaciones se dificultaron, entre otros puntos por (Álvarez & Gutiérrez, 2000):

a) La obligatoriedad del Consentimiento Previo Informado. (Consiste en que el país exportador debe dar aviso previo al país importador de su intención de enviar un cargamento transgénico y proveer toda la información pertinente sobre el producto). Esta posición era avalada por el Grupo de los 77 más China (presidido por Guyana) y refutado por el grupo de Miami (Liderado por Estados Unidos y

compuesto por grandes exportadores de cereales: Argentina, Canadá, Australia, Chile y Uruguay), que quería excluir a los productos de consumo (“commodities”); y la Unión Europea (que quería excluir a los productos farmacéuticos).

b) La no subordinación del protocolo a las normas de la OMC (Organización Mundial del Comercio) punto en que coincidían la UE y el Grupo de los 77+China, pero al que se oponía el grupo Miami.

Otro aspecto crítico estuvo relacionado con la prevalencia de las consideraciones comerciales frente a las ambientales y sociales por parte del Grupo de Miami. Las consideraciones netamente económicas se reflejaron en las posiciones adoptadas por el grupo que buscaban excluir del Protocolo los productos para alimentación humana o alimentos procesados más conocidos como “commodities”, así como los productos derivados de organismos modificados genéticamente; restringir la aplicación del ámbito a aquellos OVMs destinados exclusivamente a liberación intencional en el país importador, no etiquetado para los OVMs; ninguna restricción frente al comercio con no partes y defendieron con especial ahínco el hecho de que el Protocolo no afectara en ningún caso los derechos y obligaciones derivados de otros acuerdos internacionales, en especial los relacionados con la Organización Mundial del Comercio (Aramendis & Hodson, 1999).

Al no haber un acuerdo en Cartagena, la sesión debió ser suspendida por un tiempo para concertar un consenso, no se firmó el Protocolo y las negociaciones se matuvieron abiertas por 18 meses más. Simultáneamente, se instaló la primera Conferencia Extraordinaria de las Partes del CDB, en Montreal en donde se aprobó el texto final.

Hay que resaltar que el enfoque que se había discutido desde la conformación del BSWG, dio un giro drástico en las últimas negociaciones. De acuerdo con el mandato del CDB, el Protocolo debería incluir una serie de medidas de seguridad para evitar que los OVM producto de la biotecnología pudieran tener impactos negativos en la biodiversidad. Pero las últimas negociaciones se habían orientado hacia un concepto más comercial que ambiental, concentrándose más en los mecanismos de movimiento transfronterizo de los OVM como bienes de mercado,

que en la regulación clara de medidas de seguridad para evitar daños al medio ambiente y a la salud humana (Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt, 1999).

El Protocolo de Bioseguridad entrará en vigor noventa días después de que el país 50 de los países signatarios, lo ratifique (Álvarez & Gutiérrez, 2000). Para el caso de Colombia, se expidió la Ley 740 de 2002 de aprobación del Protocolo de Cartagena, la Corte Constitucional lo declaró exequible en febrero de 2003, lo ratificó oficialmente ante las Naciones Unidas el 20 de mayo de 2003, fecha en la cual había 49 ratificaciones, razón por la cual se espera que entre en vigor antes de finalizar el año.

3.3. Legislación en Colombia

En Colombia existe una serie de documentos normativos relacionados, de manera general e indirecta, con bioseguridad como la Constitución Política de 1991 (Art. 8, 81), el Código Penal (Ley 599/00, Art. 132 a 134, 328 a 332, 334 y 337) y la Ley 740 de 2002, entre otros. Adicionalmente, en los diferentes sectores (salud, agrícola, pecuario, medio ambiente, industria, comercio exterior y alimentos) se contempla tangencialmente aspectos de bioseguridad de manera aislada e inconexa.

Para el caso del sector agropecuario existe el Decreto 2142/92 del ICA, la Ley 101/93 sobre desarrollo agropecuario y pesquero, el decreto 1840/94 sobre sanidad animal y las resoluciones de ICA relacionadas directamente con OMG (mencionadas más adelante). Para el caso del sector de medio ambiente, existe el Decreto Ley 2811/74 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables), el Decreto 622/77 (Reglamenta el código de Recursos Naturales), Decreto 1608/78 (Por el cual se reglamenta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y la Protección al Medio Ambiente y la ley 23/73 (en materia de Fauna Silvestre), Decreto 1681/78 (Manejo de los recursos hidrobiológicos), Ley 99/93 (por la cual se crea el Ministerio del medio Ambiente), Decreto 1753/94 (por el cual se reglamentan parcialmente los títulos VIII y XII de la ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales), Ley 165/94 (Convenio de Diversidad Biológica), Ley 299/96 (por la cual se protege la flora

colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones) , Decreto 1420/97 (Autoridades científicas de Colombia ante la CITES), Ley 491/99 (seguro ecológico) y Ley 611/00 (manejo sostenible de especies de fauna silvestre y acuática). En el sector salud existe la Ley 9/79 (por medio de la cual se dictan medidas sanitarias) y la Resolución 008430/93 (por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud), y en el sector de alimentos existe la reglamentación INVIMA la cual se acoge a la normatividad del CODEX *Alimentarius*. Algunas de las disposiciones nacionales, por tener más de dos décadas de vigencia y desconocer los términos y conceptos manejados actualmente en materia de bioseguridad en los tratados internacionales, pueden prestarse para confusiones que afecten la eficacia de su aplicación.

En los últimos años, debido al desarrollo que ha tenido la industria biotecnológica en el ámbito mundial y a la presión de los compromisos internacionales, Colombia se ha visto en la necesidad de impulsar, actualizar y revisar la normatividad existente en la materia. Es así como a partir de 1998 se empiezan a abordar específicamente los aspectos de bioseguridad, cuando el Ministerio de Agricultura, a través del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, concluyó la elaboración y promulgación de dos instrumentos que actualmente conforman el marco regulatorio en materia de bioseguridad agrícola: la Resolución 3492/98 y el Acuerdo 013/98, de la Junta Directiva del ICA que crea el Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad Agrícola CTN, posteriormente modificado mediante Acuerdo 02/02.

La Resolución No. 3492 del 22 de diciembre de 1998 expedida por el ICA, reglamenta y establece el procedimiento de introducción, producción, liberación y comercialización de OMG vegetales, los cuales han sido alterados deliberadamente por la introducción de material genético o la manipulación de su genoma (ICA, 1998).

Simultáneamente con esta resolución, el ICA aprobó el Acuerdo 0013 por el cual se crea el Consejo Técnico Nacional, CTN, como órgano asesor y de apoyo para cumplir con las funciones y responsabilidades que en materia de bioseguridad competen al ICA en cuanto a la introducción, producción, liberación y

comercialización de OMG de uso agrícola, el cual solo tendrá un carácter "consultivo y asesor". El CTN está integrado por once miembros, siete representantes del sector público y cuatro de la sociedad civil; además, a sus sesiones pueden ser invitados especialistas de acuerdo con el tema que se va a tratar (ICA, 1998). Posteriormente el CTN fue modificado mediante el Acuerdo N° 0002 de febrero 25 de 2002, en el que se adiciona el artículo 5 *“los miembros del CTN Agrícola deberán abstenerse de evaluar y votar proyectos o actividades que los beneficien directa o indirectamente”*. El CTN, de acuerdo con esta modificación, quedó integrado por los siguientes miembros: un representante del Ministerio del Medio Ambiente, un representante del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, un representante del Ministerio de Salud, el Subgerente de Protección y Regulación Agrícola del ICA, el coordinador del Grupo de Derechos de Obtentor de Variedades y Producción de Semillas del ICA, un representante de la Universidad Nacional de Colombia, un representante de la Asociación Colombiana de Productores de Semillas (ACOSEMILLAS) que desarrolle actividades con OMG, un representante de la Asociación de Industriales (ANDI) que desarrolle actividades con OMG, un representante de la Asociación Nacional de Usuarios Campesinos (ANUC) y un representante de la Sociedad de Agricultores de Colombia “SAC” (ICA, 2002).

Adicionalmente, en octubre de 2001 se aprobó la Resolución 02935 que regula los OMG en el sector pecuario, y el Acuerdo 04/02 que crea el CTN pecuario, el cual se instaló el 4 de Septiembre de 2002.

En el año 2002, aunque ya existían las resoluciones del ICA, el Ministerio del Medio Ambiente inició el “Proyecto de Norma Marco en Bioseguridad del Ministerio del Medio Ambiente”. Este proyecto consiste en crear una norma marco para regular la investigación, experimentación, introducción, liberación, movilización o transporte, producción, comercialización y/o distribución, utilización y almacenamiento de OMGs. Se están realizando talleres en los cuales participan miembros de todos los sectores que se relacionan con el tema. El borrador de este proyecto de norma, que se encuentra sujeto actualmente a modificaciones, tiene fecha de marzo de 2002 (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Por otra parte, existe una Propuesta del plan de acción interministerial para la Bioseguridad de los OMG y sus derivados, implementado, en parte, a través de un proyecto GEF (Global Environment Facility). El objetivo de éste es elaborar una propuesta que permita actuar de manera conjunta y armónica en materia de planes, programas y proyectos en Bioseguridad con respecto a los OMGs y sus derivados, con el fin de prevenir los riesgos y minimizar los impactos sobre la salud humana, animal, vegetal, el medio ambiente, la biodiversidad, la producción y la productividad agropecuaria, considerando además los aspectos socioeconómicos. En este documento se propone la formulación de un decreto mediante el cual se establezca la Comisión Intersectorial de Bioseguridad y se dicten otras disposiciones. Los participantes en esta propuesta son los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, Comercio Exterior, Medio Ambiente y Salud y representantes del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Colciencias y del Instituto von Humboldt. En este contexto, actualmente se encuentra en implementación el proyecto “GEF-Capacity Building to Implement the Cartagena Protocol – COLOMBIA”, cuya ejecución ha sido delegada por el Ministerio del Medio Ambiente (punto focal GEF Colombia) al Instituto Alexander von Humboldt. El desarrollo del proyecto se encuentra bajo la supervisión de un Consejo Intersectorial conformado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, el Ministerio de Salud, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA, el Ministerio de Comercio Exterior, el Ministerio de Medio Ambiente, el Instituto Alexander von Humboldt y Colciencias. El objetivo de desarrollo del proyecto es fortalecer la capacidad nacional, -tanto en las instancias gubernamentales, como en los grupos de usuarios clave involucrados en los procesos de evaluación y gestión de riesgo (sociedades científicas, industria, ONGs)- de analizar, informar, y tomar decisiones con el fin de reducir los riesgos potenciales asociados con OVMs, así como incrementar sus beneficios a la sociedad y proteger la biodiversidad. El objetivo inmediato del proyecto es, en tres años, implementar la capacidad nacional para la evaluación y manejo de riesgos asociados con el movimiento transfronterizo de OVMs, mediante el fortalecimiento de los marcos legales y regulatorios, el

incremento de la capacidad institucional y de las estrategias de comunicación. Esto se desarrollará a través de transferencia de conocimiento, así como programas regionales de entrenamiento en Colombia (GRUPO DE TRABAJO INTERSECTORIAL, 2002).

3.4. Evaluación de riesgos de OMG

En este contexto, la definición de “riesgo” se toma como la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso o inesperado que pueda causar daño a la salud, al medio ambiente o a la producción agropecuaria. Teniendo en cuenta las preocupaciones que se generan por el uso de OMG, existen procedimientos para valorar, analizar y manejar los posibles riesgos que pueden derivarse del uso de esta tecnología (FAO, 2003). Todos los alimentos “nuevos”, producidos tanto por métodos convencionales o por procesos biotecnológicos, son sometidos a una evaluación de seguridad y de inocuidad del alimento para ser aprobados para la venta. Se realizan rigurosas pruebas y evaluaciones con el fin de garantizar la seguridad de los productos para lograr los beneficios de la biotecnología. De hecho, las variedades biotecnológicas son sometidas a más pruebas que las variedades convencionales antes de ser introducidas en el mercado. Dichas pruebas involucran plantar estas nuevas variedades en cultivos de ensayo. Luego esos cultivos se cosechan, se analizan y finalmente se prueban en animales para valorar que su consumo no genera peligro. Estos productos, son probados en relación con su inocuidad, la cual incluye, entre otros aspectos, toxicidad, alergenicidad y patogenicidad. Gran parte del debate de los OMG está enfocado hacia los riesgos de la salud que pueden aparecer en el largo plazo o que pueden ser irreversibles. Aunque este tipo de preguntas solo pueden, y además deben, ser respondidas caso por caso. Los OMG sólo son aprobados para ser introducidos al mercado cuando satisfacen los requerimientos regulatorios de cada país (Asociación de Semilleros Argentinos, 2003).

Previo a la comercialización de cultivos MG, éstos son sometidos a pruebas de laboratorio y de campo. Existen muchas bases de datos sobre los ensayos que han sido realizados con OMG para liberarlos al ambiente. La Red de Información de Bioseguridad y Servicio Consultivo (BINAS por su sigla en inglés) de la

Organización de Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (UNIDO) tiene una base de datos sobre los ensayos de campo en todo el mundo. En EEUU existe el sistema de información de Biotecnología (ISB) con una amplia base de datos para pruebas y solicitudes. La Comisión Europea tiene una revisión actualizada de las notificaciones de liberación al ambiente de los OMG en los países miembros. Otros sitios pueden ser consultados para conocer los procedimientos de bioseguridad, como el Centro para la Ingeniería Genética y la Biotecnología (ICGEB) y la base de datos de AGBIOS. Existen muchas organizaciones que tienen instrumentos para ayudar a los países a generar o fortalecer la capacidad para establecer tales sistemas de seguridad. Entre ellas está el Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional (ISNAR) del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional, CGIAR. La FAO, la OMS (Organización Mundial de la Salud), la OCDE (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo) y la Academia Nacional de Ciencias de los EEUU han llegado a la conclusión de que el uso de técnicas de biotecnología no afecta a la seguridad de un producto (Nap *et. al* 2003).

En EEUU, los alimentos desarrollados a través de la biotecnología moderna están sometidos a los mismos requisitos normativos que la FDA (Food and Drug Administration) utiliza para evaluar todos los alimentos e ingredientes de alimentos en el mercado (Asociación de Semilleros Argentinos, 2003). Por otra parte, el Servicio de Inspección de la Salud de los Animales y de las Plantas (APHIS) de la USDA, debe determinar si una planta transgénica tiene probabilidad de generar plagas y ocasionar efectos en la agricultura y en el medio ambiente. Esta agencia regula la importación, transporte y pruebas de campo de semillas y plantas transgénicas. Adicionalmente, se encuentra la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que regula las plantas transgénicas que son modificadas para obtener resistencia a plagas, como el caso del maíz *Bt* resistente a insectos o la calabaza resistente a virus (Nap *et. al* 2003).

Para el caso de la FDA, esta entidad realiza una consulta con el solicitante (ya sea una industria, universidad, centro de investigación), quien debe presentar los datos que la FDA considere que se requieren para realizar la evaluación de cada

producto. Por ejemplo, los datos del gen que ha sido introducido en el nuevo producto, si este gen proviene de una fuente que es conocida como alergénica, la FDA exige muchas pruebas de alergenicidad y de toxicidad. Igualmente, puede exigir investigaciones adicionales para evaluar los cultivos MG como: los niveles alterados de nutrientes, las sustancias nuevas e información sobre los marcadores de selección resistentes a antibióticos utilizados en el proceso de obtención de la planta en cuestión. USDA regula la importación, transporte y pruebas en campo de semillas transgénicas y plantas mediante ciertos criterios como: la integración estable del gen foráneo en el cromosoma de la planta, que éstas no sean patógenas para los animales y los humanos, que no exista posibilidad de toxicidad en organismos no objetivo y que exista bajo riesgo de que se produzcan nuevos virus en las plantas bajo la introducción del cultivo MG. Por su parte, la EPA como autoridad de regulación de plantas transgénicas exige datos de caracterización sobre el tipo de resistencia incorporado a la planta como la naturaleza bioquímica del producto, su modo de acción y el tiempo y tejidos en los cuales se expresa el producto; revisión de los efectos ambientales (tanto riesgos como beneficios) de la característica introducida en la planta, incluyendo los efectos sobre las especies no objetivo y las consecuencias ambientales; puede solicitar, en los casos que se requiera, un plan de manejo de resistencia que puedan adquirir las especies objetivo; determinación de si el gen introducido o su producto son tóxicos basándose en pruebas de toxicidad en animales. Finalmente la EPA exige que se regulen los nuevos usos de los plaguicidas existentes, como el uso de herbicidas con transgénicos resistentes a él.

De acuerdo con Daniell (2002), adicionalmente a las evaluaciones a las que son sometidos los productos derivados de OMG, existen grupos de investigadores que han intentado desarrollar, durante la liberación del cultivo en el campo, algunas estrategias para manejar los posibles riesgos ambientales. El manejo o gestión de riesgos es el proceso mediante el cual se evalúan o se valoran las posibles alternativas que existen para atenuar el riesgo potencial, y, si es necesario, seleccionar opciones de prevención y control que sean apropiadas (FAO, 2003).

CAPÍTULO 4

GENERALIDADES DE *Zea mays* Y SUS PRINCIPALES TRANSFORMACIONES GENÉTICAS

El maíz (*Zea mays*) probablemente se empezó a cultivar hace unos siete mil años. Los restos más antiguos de maíz son unas pequeñas mazorcas que datan del año 3600 a.C., encontradas en cuevas de la región árida de Tehuacán, en México. La planta de maíz se deriva de una variedad de teocintle (*Zea mays spp mexicana*) que crece de manera silvestre en México. Sin embargo, existen estudios prehistóricos de México que revelan que la existencia de estas pequeñas mazorcas fueron fechadas, por análisis de carbono radioactivo, alrededor de 5000 años a.C., ratificando así que el maíz fue domesticado originalmente al Sur de México central. En época precolombina el maíz se introdujo en Sudamérica, donde también se domesticó. Como resultado, el maíz es una especie cuyo centro de origen y de diversificación va de México a Suramérica (Geenpeace, 2000).

El maíz presenta características particulares que lo ubican como uno de los productos que más se puede comercializar. Hasta 1996 el maíz ocupaba el tercer lugar como alimento básico en términos de producción. Otra característica del maíz, es la diversidad de usos que presenta, como consumo doméstico, alimentación del ganado vacuno y porcino, aves de corral y piscicultura. Adicionalmente presenta usos como materia prima a bajo costo, fiable y controlable para todo tipo de aplicaciones industriales. El mercado con mayor crecimiento industrial es el del jarabe de maíz con alto contenido de fructosa, que ha sustituido al azúcar como edulcorante en las bebidas carbonatadas y en muchos otros alimentos industriales. El etanol y el almidón derivados del maíz son muy utilizados en las industrias papeleras y textiles. Existe una amplia gama de productos derivados del maíz, desde polímeros hasta farmacéuticos. Hasta 1996, más del 15% del maíz cultivado en Estados Unidos era utilizado como materia prima para la fabricación de más de 3500 productos y,

hasta esa fecha continuaban las actividades de investigación y desarrollo con el fin de aumentar ese porcentaje (GRAIN, 1996). Es posible que debido al éxito que ha tenido el maíz en los aspectos mencionados, se ha convertido en el segundo cultivo MG más importante en términos de área cultivada, con el 19% del área total sembrada con cultivos MG después de la soya que ocupa el primer lugar con 63% de la superficie total (James, 2002).

4.1. Características de las principales líneas de maíz MG

Existen principalmente cuatro grupos de variedades de maíz modificadas genéticamente basadas en Bt y principalmente una basada en RR, que son comercializadas. Entre estas se encuentran los eventos conocidos como DBT418 comercializado por Dekalb Genetics, el evento MON810 de Monsanto, el BT11 de Novartis, el Bt 176 (ya retirado del mercado) y el GA21 de Monsanto conocido como maíz Roundup Ready.

El maíz DBT418 es una línea de maíz modificada genéticamente que contiene dos genes nuevos, *Cry IAc* (para tolerancia a insectos) y el gen *bar* (tolerancia a herbicidas). Los dos genes fueron introducidos en el maíz mediante la transformación de aceleración de partículas o biolística (AgBios, 2002). *DBT418* se desarrolló con el fin de conferir resistencia al barrenador europeo del maíz, utilizando el gen *Cry IAc*, aislado de la bacteria *B. thuringensis*. *Cry IAc*, es una endotoxina que actúa de manera selectiva, uniéndose a sitios localizados sobre el intestino medio de las especies de insectos susceptibles. Una vez se ha unido al sitio específico del intestino, se forman poros que rompen el flujo de iones en el intestino medio, causando la parálisis de éste y a veces la muerte debida a la infección bacterial. *Cry IAc* es mortal sólo cuando es ingerido por las larvas de insectos lepidópteros y se debe a la acción directa de los sitios específicos de unión en ellos. No existen sitios de unión específicos para la delta toxina de *B. thuringiensis* sobre la superficie de las células intestinales de los mamíferos. Adicional al gen *Cry IAc*, la línea de maíz DBT418, fue desarrollada con el fin de permitir el uso del glufosinato de amonio, ingrediente activo del herbicida fosfonotricin, como una opción del control de

malezas. La línea DBT418 contiene el gen *bar* aislado de un actinomiceto común del suelo (*Streptomyces hygroscopicus*). Este gen permite la producción de la enzima fosfinotricin n-acetil transferasa (PAT), la cual confiere tolerancia al glufosinato. No se conocen propiedades tóxicas de la enzima PAT. Esta la línea de maíz (DBT418) fue probada en estudios de campo en Estados Unidos a inicios de 1995. Los datos colectados de estos ensayos demostraron que la línea transgénica DBT418 proporcionó protección significativa al daño causado por el barrenador europeo del maíz (*Ostrinia nubilalis*) y por el barrenador suroccidental del maíz (*Diatraea grandiosella*). Adicionalmente, el maíz no tiene ninguna especie silvestre estrechamente relacionada en Estados Unidos y Canadá, como sí ocurre en México. El intercambio de genes entre DBT418 y maíz relacionado fue determinado como no significativo en los ecosistemas en los cuales fue manejado (AgBios, 2002).

La línea de maíz BT11 fue genéticamente modificada para contener dos genes nuevos. *Cry IAb* (tolerancia a insectos) y *pat* (tolerancia a herbicidas). Estos dos genes se introdujeron mediante aceleración de partículas o biolística y presenta las mismas características de DBT418 (AgBios, 2002).

La línea de maíz MON810 fue modificada genéticamente con el fin de controlar al barrenador europeo del maíz debido que esta línea presenta la capacidad de producir su propio insecticida. MON810 fue desarrollada introduciendo el gen *Cry IAb*, aislado de *B. thuringensis*, utilizando el método de aceleración de partículas o biolística. El gen *Cry IAb* produce una delta-endotoxina, con el fin de ejercer control sobre los insectos. MON810 expresa Cry1Ab a una concentración efectiva durante la etapa de crecimiento, indicado por su eficiencia en el control de tanto la primera, como la segunda generación de infestación del barrenador europeo. Sin embargo, la expresión de la proteína se va reduciendo durante la etapa de desarrollo del cultivo, según se evidenció en los resultados de concentraciones de la proteína *Cry1Ab*, encontrada en ensayos foliares (AgBios, 2002).

El evento GA21 de Monsanto es conocido como maíz Roundup Ready. Aunque en Estados Unidos y Canadá el maíz es utilizado principalmente como alimento animal, una pequeña cantidad es consumida por humanos, como el

aceite de maíz y otros productos extraídos de su semilla encontrados en alimentos procesados como cereales y gomas de mascar, entre otros. La línea de maíz GA21 fue modificada genéticamente mediante aceleración de partículas o biolística para ser resistente o tolerante a los herbicidas que contengan glifosato. Se aisló el gen EPSSP el cual fue modificado de tal forma que está codificado por una enzima que no es sensible a la inactivación por el glifosato. Esta nueva variedad permite al agricultor utilizar herbicidas que contengan glifosato para el control de malezas en los cultivos de maíz (AgBios, 2002).

GA21 fue evaluada en campo desde 1994 hasta 1996 en Estados Unidos, Puerto Rico y Canadá. Estas evaluaciones indican que GA21 no muestra ninguna característica anormal, no muestra tendencia de incremento de malezas y no presentó efecto sobre especies no objetivo, sobre otros organismos y sobre el ambiente en general. Además retuvo las características agronómicas de su variedad parental y difiere sólo en su tolerancia al glifosato. El maíz no presenta especies relacionadas en estado silvestre en el área continental de Estados Unidos y Canadá. El maíz cultivado puede cruzarse con el teocintle (*Zea mays subsp. mexicana*) cuando éste crece cerca, sin embargo, este maíz es nativo de América Central y no se encuentra de forma natural en Norte América (AgBios, 2002).

Se determinó que la posibilidad de que se incremente el uso del glifosato, debido a la posible resistencia que se puede generar en la población de malezas, fue baja y además éstas podrían ser controladas con aplicaciones de herbicidas diferentes al glifosato. Con esto se concluyó que no es posible generar un impacto adverso sobre las prácticas asociadas con el uso de la variedad GA21. La seguridad en la alimentación tanto humana como animal de la línea GA21 fue establecida con base en criterios estándar. Se analizaron muestras de semilla tanto para alimentación animal como de la semilla de GA21 en aspectos como: contenido de calcio, carbohidratos, fibra, humedad, grasa y fósforo. No hubo diferencias significativas en la composición de nutrientes entre GA21 y las variedades comerciales de maíz. La secuencia de aminoácidos de la proteína modificada (EPSPS) y la de la variedad no modificada de la misma proteína (EPSPS) fueron comparadas con secuencias de

proteínas conocidas como alérgicas y tóxicas. Se encontró que la proteína modificada es 99.3% similar a la enzima del maíz silvestre y no se presentó ninguna secuencia homóloga con aquellas conocidas como alérgicas o tóxicas (AgBios, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

- Con el fin de presentar el estado actual de la investigación en organismos modificados genéticamente (transgénicos) de uso agrícola en Colombia, fue necesario realizar entrevistas personales. Las primeras entrevistas realizadas fueron con Colciencias, con funcionarios del ICA que hacen parte del Consejo Técnico Nacional CTN de Bioseguridad, y con la Dirección Nacional de Investigación, DINAIN. A partir de estas entrevistas se obtuvo la lista de las instituciones e investigadores de transgénicos de uso agrícola en el país. Una fuente adicional de información sobre la investigación en Colombia se obtuvo mediante la participación en el “Taller Internacional de Ingeniería Genética para la Agricultura Colombiana”, organizado por el Departamento de Biología y el Instituto de Genética de la Universidad Nacional de Colombia y Corpoica. Posteriormente, conociendo las instituciones que investigan sobre mejoramiento genético de plantas basado en transgénesis, se realizaron entrevistas personales con algunos de ellos.

- Para presentar el debate público sobre los organismos transgénicos, especialmente el caso del maíz, *Zea mays*, en el ámbito mundial y nacional se hizo una amplia revisión bibliográfica teniendo en cuenta revistas científicas, publicaciones por Internet, redes de circulación de información sobre transgénicos y la asesoría del director (Germán Alonso Vélez) y la codirectora (Elizabeth Hodson de Jaramillo) del presente trabajo de grado, quienes están ampliamente informados del estado del debate mundial sobre transgénicos y conocen las bases de datos de información y difusión al respecto.

- Para el cumplimiento de los objetivos específicos del presente trabajo de grado, como presentar el estado actual de las semillas transgénicas producidas por la industria biotecnológica fueron consultados principalmente los reportes de ISAAA de 1996 y el último hasta la fecha (2002). Adicionalmente, se utilizaron las bases de datos de AgBios, Agricultura & Biotechnology estrategias de 2002.

De la misma manera se tuvo acceso permanente a las bases de datos virtuales y a las actualizaciones de información que circulan por internet.

- Con el fin de presentar las estrategias para la introducción de transgénicos en Colombia, se realizaron entrevistas personales con representantes del ICA en el CTN y se tuvo acceso a las actas de las reuniones que se celebran dentro de este consejo.

- Para evaluar e identificar los aspectos más importantes y críticos del Protocolo de Bioseguridad del CDB y las normas nacionales vigentes, se revisó la literatura que analiza el protocolo y se tomó en cuenta la asesoría del director y la codirectora del presente trabajo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Estado actual de la investigación de OMG en Colombia

En Colombia se empezó a desarrollar la tecnología en transgénicos solo hasta principios de la década de 1990 y estuvo ligada a la llegada de investigadores colombianos recién egresados de sus especializaciones en el exterior.

En 1994 se encuentra la primera publicación de investigadores colombianos, relacionada con transformación genética de plantas, producto de la actividad del CIAT, Centro de Investigaciones en Agricultura Tropical, la cual llevaba por título “Transformación de *Stilosantes quianensis* mediada por *Agrobacterium tumefaciens* y producción de plantas transgénicas” (Sarria *et al.*, 1994). Aunque el CIAT como centro internacional no se puede incluir oficialmente dentro de las instituciones nacionales que hacen parte de la investigación en transgénicos en Colombia, es importante destacarla debido a que su trabajo de investigación está basado en cultivos de interés tropical, a que se encuentra dentro de los límites del país en el departamento del Valle del Cauca y a que es uno de los centros de investigación perteneciente al CGIAR, y que a pesar de ser financiada por este Grupo Consultivo y de recibir un gran aporte de la industria de los países del Norte, también recibe fondos del Estado Colombiano por medio del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de Colciencias y ha servido de importante apoyo para el desarrollo de los grupos de investigación en el país (Colciencias, 2002)¹.

En 1995 en el “Congreso Latinoamericano de Biotecnología” aparece la segunda publicación en transformación genética de plantas en el país, esta vez por el IBUN, Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, la cual estaba enfocada hacia el desarrollo de tabaco resistente a herbicidas, que ha sido siempre una preocupación central en el desarrollo de transgénicos en el país (sin restarle importancia a la investigación en resistencia a virus), debido principalmente a las malas experiencias derivadas de la revolución verde (Chaparro *et al.*, 1995).

¹ De Peña, M., 2002. Colciencias. Ciencia y Tecnología. *Comunicación personal*.

Por otra parte, desde 1996, la empresa Semillas Deltacol Ltda. mediante convenio con Agrogenética Colombiana estableció un ensayo de campo de variedades transgénicas de algodón Deltapine portadoras del gen Bollgard (desarrollado por Monsanto), que tienen incorporado un gen que codifica la toxina producida por la bacteria *Bacillus thuringiensis*, que permite el control de algunas plagas de Lepidópteros. El ensayo se realizó en El Espinal en el departamento del Tolima (Agrogenética Colombiana, 1996).

En 1997 el ICA realizó ensayos con algodón transgénico Bollgard en el Centro experimental del ICA en Palmira con el fin de determinar el control ejercido por las variedades transgénicas de algodón NUC-33B, NUC-32B y NUC-35B sobre las larvas de insectos del orden Lepidóptera en condiciones ambientales (ICA, 1997).

Actualmente, para el año 2003, en Colombia existen cerca de 12 instituciones que adelantan actividades de investigación, tanto públicas como privadas (incluyendo al CIAT), dedicadas a investigación en mejoramiento de variedades de uso agrícola, utilizadas por el pequeño cultivador, entre las que se incluye arroz, papa, frijol, tomate, tabaco, flores, entre otros (tabla 4).

CENICAFE en sus investigaciones busca producir variedades de café mejoradas de alta producción y buen tamaño de grano, resistente a las principales plagas actuales y potenciales. Financia sus investigaciones con recursos del Estado (Colciencias), y con recursos propios, aunque tiene acuerdos internacionales con la Universidad de Cornell CIFC, Portugal y el Gobierno de Zimbawe. Los promotores que utiliza para sus investigaciones son principalmente el 35 S y doble 35 S de Monsanto, y otros como el PAL de papa y alfa-tubulina de café.

La Corporación para Investigaciones Biológicas, CIB, es un grupo de biotecnología vegetal que plantea proyectos enfocados hacia la agricultura. Presenta tres líneas de investigación, en papa, banano y orquídeas. Las dos primeras relacionadas con transferencia de genes. Los proyectos que lleva a cabo el CIB están financiados por COLCIENCIAS, por la Bolsa Nacional Agropecuaria, el SENA, Servicio Nacional de Aprendizaje, DIMED – Universidad Nacional, sede Medellín, FONTAGRO®, ECOFONDO, DUPONT® y SYNGENTA®.

La Universidad de Antioquia trabaja con dos tipos de fuente de financiación, Instituciones colaboradoras y apoyos. Dentro de las instituciones colaboradoras, se cuenta el CIAT-Colombia, CINVESTAV-México, y UCLV-Cuba. Los apoyos que recibe provienen de la Universidad de Antioquia, Colciencias, Corantioquia y de la industria privada (Green Tech, Britex).

Las investigaciones de la Universidad Nacional, sede Palmira, se financian mediante un recurso denominado Recurso estampilla Pro-universidad DINAIN. Esta investigación está en fase de laboratorio y busca incorporar tres tipos de genes en una variedad de tomate. Sin embargo, aunque la caracterización bioquímica y molecular de tres eventos de transformación de tomate comprobó la presencia de dos genes: *nptII* y *gus*-intron, las pruebas de inmunoensayo y bioensayo mostraron la no expresión del gen Cry1Ab en los materiales transformados. El objetivo de estos estudios es obtener plantas de tomate y pimentón resistentes a plagas y enfermedades, vía *Agrobacterium tumefaciens*.

La investigación de papa desarrollada por el grupo de ingeniería genética de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, está financiado por el Centro Virtual de la Cadena Agroalimentaria de la Papa, CEVIPAPA.

La Pontificia Universidad Javeriana financia sus investigaciones con recursos propios, y mediante proyectos en Colciencias, y convenios con Asocolflores, la Universidad de Hannover, la Universidad de Florida en Estados Unidos y con la Universidad de Nottingham en el Reino Unido.

En Colombia, se encuentra un vacío en cuanto a la entidad responsable de regular la investigación sobre transgénicos de uso agrícola. Igualmente no existe una entidad que centralice la información relacionada con estos avances en el ámbito nacional. Por lo tanto es recomendable que se establezca una entidad que desempeñe estas funciones y adicionalmente, que marque los lineamientos de bioseguridad que deben seguirse para realizar este tipo de investigación en Colombia.

Tabla 4. Investigación de mejoramiento de variedades mediante transgénesis realizada en Colombia por Universidades y entidades públicas y privadas.

PRODUCTO	(INSTITUCIÓN)	RASGO NUEVO DEL OMG	CARACTERÍSTICAS DE LA MODIFICACIÓN GENÉTICA	ACTIVIDAD AUTORIZADA
Arroz	Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT	Resistencia al virus de la hoja blanca	Gen de la nucleoproteína del virus de la hoja blanca (RHBV).	Manejo confinado y en pequeña escala en campo.
Yuca	CIAT	Resistencia al barrenador del tallo (<i>Chilomima clarkei</i>).	Gen cryIA(b) derivado de la bacteria <i>Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki (B.t.k.)</i> .	Manejo confinado.
Brachiaria	CIAT	No disponible	No disponible	Manejo confinado.
Stylosantes	CIAT	No disponible	No disponible	Manejo confinado.
Frijol	CIAT	No disponible	No disponible	Manejo confinado
Café	Federación Nacional de Cafeteros de Colombia	Resistencia a la broca del cafeto <i>Hypothenemus hampei</i>	Desarrollo de técnicas de transformación: Biobalística, PEG y <i>Agrobacterium tumefaciens</i> .	Manejo confinado.
Caña de azúcar	Centro Nacional de Investigación en Caña de Azúcar - CENICAÑA	Resistencia al virus del síndrome de la hoja amarilla.	Gen de la proteína de la cápside del virus (CP ORF). Técnica: Biobalística	Manejo confinado.
Papa (<i>Solanum phureja</i> , variedad Yema de Huevo) Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) Diacol capiro	Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional IBUN	Resistencia al virus del enrollamiento de la hoja (PLVR) en plantas de papa criolla. Resistencia al Virus PVX	Gen de la proteína de la Cápside Gen de la proteína de la Cápside y de la replicasa. Técnica: <i>Agrobacterium tumefaciens</i> .	Etapas de evaluación.
Papa (<i>Solanum phureja</i>) variedad Yema de Huevo	Grupo de Ingeniería genética. Facultad de Ciencias -Universidad Nacional de Colombia,	Resistencia a insectos	Gen que codifica para un inhibidor de proteasas (mir12) derivado del Pomelo que puede inducir resistencia a insectos	Investigación de laboratorio
Maracuyá (<i>Pasiflora edulis</i>)	Pontificia Universidad Javeriana	Resistencia a potyvirus.	Gen de la proteína de la Cápside. Técnica: <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Evaluación en confinamiento.

Crisantemo		Resistencia a la roya blanca.		Investigación en laboratorio
Algodón	CORPOICA	Resistencia a insectos (<i>Anthonomus grandis</i>).	No disponible	Investigación en laboratorio
Arveja		No disponible		
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) Banano	Corporación para Investigaciones Biológicas - CIB	Resistencia al ataque de la polilla (<i>Tecia solanivora</i>) Resistencia a la Sigatoka negra	Técnica: <i>Agrobacterium tumefaciens</i> Clonaje de fragmentos de DNA de banano por PCR con alta homología a genes de resistencia. Clonaje de fragmentos de DNA que codifican para Fenilalanina Amonia liasa (PAL) en Gran Enano y Yangambi Km.5, variedades sensibles y resistentes a la Sigatoka Negra.	
<i>Stevia rebaudiana</i> <i>Heliconia stricta</i> .	Facultad de Ciencias exactas y naturales, Universidad de Antioquia.	Transformación genética de <i>Stevia rebaudiana</i> . Transformación genética de <i>Heliconia stricta</i> .	No disponible	Investigación en laboratorio
Tomate Variedad UNAPAL-Arrebles	Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle.	Resistencia al pasador de la fruta. (<i>Neoleucinodes elengalis</i>)	Gen Cry1Ab en la variedad de tomate. Técnica: <i>Agrobacterium tumefaciens</i> .	Investigación en laboratorio.

Fuentes: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Actas CTN 1999 – 2001, Colciencias² y exposiciones en el “Taller Internacional de Ingeniería Genética para la Agricultura Colombiana, organizado por el Departamento de Biología y el Instituto de Genética de la Universidad Nacional de Colombia y Corpoica.

² De Peña, M. 2002. Colciencias. Ciencia y Tecnología. *Comunicación personal*.

2. Debate público sobre el maíz, *Zea mays*, modificado genéticamente

Debido a que en Colombia todavía no se ha introducido maíz transgénico, el debate tampoco se ha puesto sobre la mesa, por lo menos en lo referente a este producto. Sin embargo, en México, debido a que es considerado como el centro mesoamericano de diversidad genética del maíz, existe un debate bastante fuerte pese a que la Comisión Nacional de Bioseguridad de México, decretó en 1998 una moratoria que prohíbe la producción y comercialización de este maíz (Milenio, 2002)

2.1. El maíz Bt y la mariposa Monarca

El primer informe que encendió el debate relacionado con maíz MG, aunque no se dio precisamente en México sino en Estados Unidos, fue el de Losey *et al.* (1999) publicado en la revista *Nature* del 20 de mayo. Este informe señaló que las larvas de monarca son envenenadas por el polen de maíz *Bt*.

La larva Monarca es el estadio biológico de oruga de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* (L)), nativa de América del Norte. Las larvas se alimentan de las hojas de una planta conocida como algodoncillo (plantas de la familia Asclepiadaceae). Como su alimentación no incluye plantas de maíz, las monarca no son organismos perseguidos en el sistema de control de las plagas de insectos en un campo de maíz. Sin embargo, como son miembros del orden Lepidóptera (mariposas diurnas y nocturnas) son sensibles a los productos químicos utilizados para el control de insectos en cultivos. Un Lepidóptero, el barrenador europeo del maíz, que constituye una de las plagas del maíz, es el principal blanco de las toxinas *Cry1* de *Bt* presentes en las variedades de maíz transgénico (Colorado State University, 2002a).

Losey y sus colaboradores basaron su estudio en un tipo de maíz *Bt* conocido como evento 176 utilizado contra el barrenador europeo del maíz. Los resultados de este estudio sugirieron que el polen del maíz *Bt* también afecta a las mariposas monarca. En pruebas de laboratorio espolvorearon polen de maíz *Bt176* en hojas de algodoncillo, evaluaron tres grupos de orugas de monarca. El primer grupo fue alimentado con hojas que habían sido espolvoreadas con el polen del maíz *Bt*; el segundo grupo de orugas fue alimentado con hojas espolvoreadas con polen de maíz

tradicional; y el tercer grupo se alimentó de hojas sin polen. En el transcurso de cuatro días, casi la mitad de las orugas alimentadas con polen *Bt* murieron, mientras que no murió ninguna oruga en los otros dos grupos. Cinco repeticiones de los tratamientos aportaron datos suficientes para indicar que los resultados era estadísticamente significativos. La reacción a este informe fue inmediata. Los opositores a los cultivos transgénicos aclamaron el informe como una prueba de que el maíz *Bt* causaba fuertes impactos negativos sobre el ambiente, mientras que los defensores de los cultivos transgénicos criticaron los métodos de investigación y rechazaron el estudio como “preliminar” y “defectuoso” (Colorado State University, 2002a).

Otro estudio relacionado con los efectos del maíz *Bt*, utilizando *Bt176*, sobre las poblaciones de la mariposa Monarca, fue realizado por el entomólogo John Obrycki y la estudiante postgraduada Laura Hansen, en la Universidad Estatal de Iowa. Obrycki y Hansen han estado evaluando el riesgo potencial que representa para la mariposa monarca la presencia y dispersión de la toxina *Bt* del polen de maíz. El primer paso de su metodología consistió en colocar plantas de Asclepiadáceas en macetas, a diversas distancias del borde de un campo de maíz MG *Bt* 176 y de un campo de maíz no MG, con el fin de determinar los niveles de concentración del polen en las hojas. Luego tomaron muestras de hojas de asclepiadáceas para evaluar la mortalidad de la larva monarca recién nacida expuesta al polen de maíz *Bt176* o maíz no MG. Estos investigadores encontraron que "en un período de 48 horas se presentó una mortalidad de 19% en las plantas expuestas al polen del maíz *Bt176*, comparada con cero por ciento en el caso de plantas expuestas al polen del maíz no modificado". En la evaluación de esta investigación Marlin Rice, entomólogo del estado de Iowa, escribe que tanto el estudio del estado de Iowa como el de Cornell "indican que es posible que algunas, aunque no todas las orugas monarca, mueren cuando ingieren polen de maíz *Bt*". Sin embargo, dice, es necesario realizar más investigación sobre los efectos del maíz *Bt* en la mariposa monarca y otras especies no estudiadas (Hansen & Obrycki, 2000).

El Grupo Científico Asesor (SAP por sus siglas en inglés) de la Agencia de Medio Ambiente estadounidense (EPA), que representó a uno de los organismos del gobierno de Estados Unidos como parte del grupo que efectuó estos estudios, presentó un informe sobre los posibles impactos de las plantas transgénicas *Bt* en la mariposa monarca, divulgado el 16 de octubre de 2000. Este estudio forma parte del material destinado a evaluar la prórroga del permiso para la siembra de maíz, papas y algodón *Bt* en este país. El informe de la EPA calcula que no habría efectos notables adversos sobre las mariposas monarcas a concentraciones de hasta 150 granos de polen por cm cuadrado de hoja de algodoncillo para los dos productos *Bt* más utilizados (*Bt11* y *MON810*). No es probable que el polen de estos se encuentre en densidades que puedan afectar a lepidópteros no-objetivo, ni siquiera cuando se alimentan en algodoncillos situados en mitad del cultivo". En los estudios realizados, los niveles de polen de maíz estaban en un margen entre 6 y 78 granos por cm cuadrado de superficie foliar. EPA aclara que en el citado artículo de Losey *et al.* (1999) así como Hansen y Obrycky (2000), que demostraban la toxicidad en laboratorio, emplearon la cepa (evento transgénico) conocida como *Bt176*, que es mucho más tóxica que otras variedades de maíz *Bt* tales como *Bt11*, *CBH351* y *MON810*. *Bt176* se retiró del mercado en el otoño de 2001. En el citado informe adicionalmente se aclara que *Bt176*, previo a su liberación comercial, no fue evaluada por la EPA. Con respecto a la distribución de las Monarcas, los algodoncillos y el maíz, en el informe de la EPA se calcula que en el verano, el área de alimentación de la mariposa monarca sólo un 10% consiste en zonas aledañas a cultivos de maíz. Los estudios del verano de 2000 muestran que el algodoncillo crece bien entre las hileras de plantas de maíz, observándose allí mariposas monarca. Esto significa que en los cultivos *Bt*, las monarca pueden quedar expuestas al polen *Bt*, en los lugares donde se produzca el solapamiento de distribución. Sin embargo, en buena parte, no hay solapamiento temporal entre la emisión del polen y la alimentación de la monarca en el cinturón de maíz, excepto en la porción más septentrional. E incluso en esa región norteña, habría que tener en cuenta que el polen corresponde a las líneas de maíz *Bt11*

y MON810 que, de acuerdo con la EPA, presentan poca incidencia negativa en la monarca (EPA, 2000a).

Con respecto a la emisión y movimiento del polen de maíz, éste está presente a distancias de 1 a 5 metros fuera del cultivo de maíz en densidades que pudieran representar una exposición significativa para las larvas, lo que representa una pequeña proporción del área de distribución de la monarca fuera de los cultivos. Por otro lado, los estudios han revelado que los algodoncillos retienen sólo un 30% del polen que cae a las hojas, y que de ese polen el 90% se elimina por la lluvia y el viento, limitando así la exposición para las larvas. Además, la duración de la emisión del polen es de 10 a 14 días, con un máximo concentrado en un período de 1 o 2 días. El polen permanece viable durante unas pocas horas tras su emisión desde la planta. Si a ello se suma el hecho de que las proteínas *Bt* (paracristales Cry) se rompen al exponerse a los rayos ultravioleta de la luz solar, al calor y a la actividad biológica, se podría sugerir que cualquier actividad insecticida del polen *Bt* debería degradarse rápidamente (EPA, 2000a).

Debido al debate y a las inquietudes planteadas por este caso, organismos de los gobiernos estadounidense y canadiense, dependencias estatales, grupos de productores y de investigación patrocinaron en forma conjunta estudios efectuados en Canadá y Estados Unidos con el fin de investigar, primero, si el polen del maíz *Bt* es letal para las orugas de monarca en las pruebas de laboratorio y/o en los campos de cultivo; y segundo, la probabilidad de que las orugas Monarcas estén expuestas al polen de maíz en condiciones naturales. En estos estudios, se destacó el hecho de que el evento de maíz *Bt176* puede presentar efectos en el crecimiento y desarrollo de la mariposa *Papilio polyxenes* debido a que contiene un promotor específico de polen y expresa una gran cantidad de proteína Cry1Ab. Otros eventos de maíz *Bt* como *Bt11* y MON810, en contraste con *Bt176*, representan la mayor superficie de maíz *Bt* sembrada en Estados Unidos y presentan efectos insignificantes para las larvas de la mariposa monarca en el laboratorio y no tendrían efectos agudos en las larvas de la monarca bajo condiciones de campo (Hellmich *et al.*, 2001). Adicionalmente en estos estudios se encontró, en estudios de laboratorio, que la dosis letal de polen para

la mariposa Monarca, es de 1000 granos en un cm cuadrado de tejido foliar. En condiciones naturales, dentro del cultivo, la concentración promedio de granos de polen en el algodoncillo es de 170.6 por centímetro cuadrado, y a 2 metros de distancia del cultivo, la concentración en hojas de algodoncillo es de 14.2 granos. Se encontró que la lluvia lava del 54 al 86% del polen y que las hojas que se encuentran en la parte superior del algodoncillo (que son las que preferencialmente consumen las larvas) presentan de 30 a 50% menos polen que las que se encuentran en la parte media de la planta. Estos estudios concluyeron que sólo el 0.8% del total de la población de larvas de monarca en Estados Unidos, es decir 56 millones, podría estar expuesto a polen de maíz *Bt*, de las cuales el 0.7% estaría expuesta a niveles tóxicos de este polen, de tal manera que el impacto de maíz *Bt* sobre las poblaciones de la mariposa monarca es no significativo. El estudio enumera otras razones por las cuales se puede reducir el efecto del polen de maíz *Bt* sobre las mariposas. Entre las razones citan el alto peso del polen de maíz, el cual no puede ser transportado fácilmente por el aire a distancias considerables del cultivo y la capacidad potencial de la larva de la mariposa monarca para evitar alimentarse de plantas de algodoncillo empolvadas con polen *Bt*. Sin embargo, en términos generales el estudio declara que el "Departamento de Agricultura tiene el propósito de realizar más investigación sobre el impacto potencial de las nuevas tecnologías agrícolas" (Pew initiative on Food and Biotechnology, 2000). Esto, especialmente si se tiene en cuenta que, de la misma manera que existen factores que pueden reducir el efecto del polen del maíz *Bt* sobre las orugas de la mariposa monarca, también existen factores que contribuyen a un mayor riesgo. En las zonas estadounidenses estudiadas, las mariposas monarca parecieron mostrar cierta preferencia por depositar sus huevos en plantas de algodoncillo que estaban dentro de los campos de maíz, en donde las orugas podrían verse expuestas a dosis altas de polen si se alimentan durante el período de dos semanas de emisión de éste. Sin embargo, en la zona canadiense estudiada, la monarca pareció preferir los hábitats naturales antes que en los campos de maíz. Por otro lado, la supervivencia de las orugas jóvenes fue más alta en los campos de maíz que en otros hábitats. Por consiguiente, es probable que la mayoría de las mariposas

monarca que se encuentran en el medio Oeste comiencen sus vidas en campos de maíz (Oberhauser *et al.*, 2001).

2.2. El maíz StarLink

Otro debate que se ha presentado con los alimentos transgénicos fue debido al consumo humano accidental de una variedad de maíz denominada StarLink correspondiente al evento CBH-351. Este maíz fue desarrollado por la empresa Aventis CropSciences con el fin de conferirle resistencia al Barrenador Europeo del Maíz (*Ostrinia nubilalis*) mediante el gen Cry9C; otra característica adicional de este maíz es la tolerancia a herbicidas, específicamente al glufosinato de amonio (Oficina de Programas de Información Internacional del Departamento de Estados Unidos 2001). Mientras que otros maíces *Bt* que se encontraban en el mercado en los años 1999 y 2000, producían una toxina *Bt* llamada Cry1Ab, StarLink produce Cry9C, una versión ligeramente distinta de la proteína (Colorado State University, 2002d).

La Agencia de Protección Ambiental, EPA, de Estados Unidos exige pruebas y evaluaciones previas con el fin de aprobar la producción y comercialización de los cultivos MG (Capítulo 3.4 del marco conceptual). Entre otras evaluaciones, la EPA requiere la determinación de si el gen introducido o su producto, son tóxicos, basándose en pruebas de toxicidad en animales. Para el caso del maíz StarLink, en las pruebas de digestión artificial exigidas por el gobierno de Estados Unidos, la proteína Cry9C tardó más tiempo en descomponerse, con respecto a Cry1Ab. Este hecho despertó inquietudes, por parte de los inspectores de la EPA, de que la proteína Cry9C podría compartir propiedades moleculares con proteínas que se conoce que son alérgicas. Debido a que no se resolvió la cuestión de la alergenidad de Cry9C, la EPA, en 1998, aprobó el uso de StarLink exclusivamente con el fin de ser utilizado como forraje, y no para consumo humano. Esto obligó a los agricultores de Estados Unidos a asegurarse de que su cosecha de StarLink no se dirigía a canales que condujeran a su inclusión entre los alimentos de consumo humano (Colorado State University, 2002d).

La aprobación del maíz StarLink bajo la condición de ser utilizado únicamente como forraje, se denominó registro "dividido". Esta decisión ha sido objeto de muchas críticas ya que para los agricultores no es posible garantizar que el producto de sus cosechas no terminará como alimento humano. Aunque las variedades de maíz producidas en Estados Unidos permanecen separadas durante la etapa de manejo, como en el caso del maíz blanco (exclusivo para el consumo humano), su almacenamiento y distribución no permite la separación que Aventis CropSciences exigía garantizar a los agricultores (Colorado State University, 2002d).

Dos factores básicos llevaron al fracaso del registro dividido. Por una parte, una encuesta convocada por Aventis, 1999, demuestra cómo dos agricultores, entre 230, vendieron su cosecha de StarLink para ser utilizada como alimento humano, y otros 29 no sabían cuál fue el destino de su maíz después de la venta. Por otra parte, se conoce que el polen de una variedad de maíz puede polinizar a otras variedades de maíz. Un grado bajo de polinización cruzada es aceptable entre las variedades que son aprobadas para el consumo humano, pero la polinización cruzada sería inaceptable con la tolerancia cero para StarLink en los alimentos humanos (Colorado State University, 2002d).

Un estudio realizado en septiembre de 2000 por un laboratorio independiente demostró la presencia de DNA del maíz StarLink en productos de consumo humano. Como consecuencia, alrededor de 300 productos alimenticios tuvieron que ser retirados de los supermercados (Oficina de Programas de Información Internacional del Departamento de Estados Unidos 2001). Adicionalmente, los Centros para el Control de Enfermedades (CDC) investigaron los reclamos de 51 personas que habían sufrido reacciones alérgicas poco después de consumir productos de maíz, pero llegaron a la conclusión de que ninguno de los síntomas informados podía ser atribuido a la proteína StarLink (Colorado State University, 2002d).

El episodio de StarLink además de revelar un problema para Estados Unidos respecto a la dificultad en la separación de maíz MG y el tradicional, constituye un ejemplo de los problemas relacionados con la aplicación y reglamentación de la tecnología transgénica: la idoneidad de la reglamentación gubernamental, la

capacidad de controlar el flujo de genes, la aceptación de los productos transgénicos por los consumidores en el país y en el exterior y cuestiones vinculadas con la inocuidad de los productos en sí. La experiencia estadounidense con el maíz StarLink puede ayudar a mejorar políticas futuras a medida que los países esclarecen los riesgos y beneficios de la tecnología transgénica, así como la normatividad (Colorado State University, 2002d).

Como consecuencia de este evento, los compradores de maíz se dirigieron a Sudáfrica, China, Argentina y Brasil para conseguir maíz exento de StarLink. La Unión Europea, Japón y Corea impusieron una prohibición total de las importaciones de cualquier maíz que contuviera StarLink y ejercen rigurosas medidas de control y evaluación; además esta variedad ya fue retirada de los mercados estadounidense y mundial (Oficina de Programas de Información Internacional del Departamento de Estados Unidos 2001).

Algunos gobiernos estatales y agricultores en cuyos cultivos no transgénicos se encontró StarLink amenazaron iniciar procedimientos judiciales y negociaron un acuerdo para protegerse económicamente (Colorado State University, 2002d). Aventis se vio obligado a prometer una indemnización a todos los productores que sembraron el maíz. El 25 de enero de 2001 logró un acuerdo con 17 estados de Estados Unidos: Iowa, Alabama, Illinois, Indiana, Kansas, Kentucky, Maine, Maryland, Minnesota, Mississippi, Nebraska, Nuevo México, Dakota del Norte, Ohio, Oklahoma, Dakota del sur y Wisconsin. Estas medidas derivaron en pérdidas económicas para la compañía comercializadora, lo cual sugiere el fortalecimiento de la normatividad y las reglamentaciones tipo registro dividido (Bramer, 2001).

Los productos que contenían maíz StarLink fueron retirados del mercado por Aventis, a mediados de octubre de 2000 (StarLink Information Center, 2001).

2.3. Flujo genético de maíz GM a variedades nativas de maíz en el sur de México

Otro debate que ha generado gran interés y expectativa, se debe a la preocupación por la contaminación de variedades criollas de maíz con maíz transgénico, en México. Todo comenzó con un artículo publicado por dos científicos

de la Universidad de California en Berkeley, David Quist e Ignacio Chapela, en la revista *Nature* en septiembre de 2001. Este informe despertó preocupación debido a que reportó presencia de transgenes en el maíz del sur de México por ser este país considerado como centro de diversidad genética para el maíz, y porque no se conocen los efectos de los transgenes sobre la diversidad genética de la especie.

La investigación de Quist y Chapela (2001), se concentró en mazorcas de maíz nativas recogidas en el Estado de Oaxaca. Se tomaron seis muestras de dos localidades y una más de tiendas locales del organismo gubernamental de alimentos subsidiados. Con propósitos de comparación, se incluyeron en el estudio dos muestras que se sabía que estaban exentas de manipulación genética y dos muestras que se sabía que contenían transgenes. Los autores extrajeron DNA de todas las muestras y luego utilizaron métodos basados en la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) con el fin de detectar y amplificar tres fragmentos específicos de DNA asociados con transgenes, pero no presentes en el maíz nativo. Estos fragmentos fueron: el promotor 35S del Virus del Mosaico de la Coliflor (CaMV35S), el gen *Cry IAb* y la secuencia de terminación *nos*. Como resultado de su estudio, Quist y Chapela detectaron la secuencia 35S del CaMV en cuatro de las seis muestras de variedades criollas, la secuencia *nos* en dos muestras y la secuencia *CryIAb* en una sola muestra. Igualmente, observaron estas secuencias en las muestras de maíz MG y no en las nativas. Adicionalmente, Quist y Chapela realizaron la PCR inversa con el fin de examinar las regiones a cada lado de DNA 35S del CaMV para determinar en que sitio del genoma se había integrado el DNA transgénico. De esta manera, los autores concluyeron que el transgén era capaz de integrarse en el genoma en múltiples sitios. Esta afirmación es importante ya que, según los autores, si el promotor 35S del CaMV se desplazara por el genoma, podría activar genes que normalmente no están activos y desactivar otros que son necesarios para el crecimiento y desarrollo normales.

El trabajo de Quist y Chapela tuvo amplia difusión en los medios y estimuló solicitudes de nuevas restricciones para los cultivos MG. El Instituto de Políticas sobre Alimentos y Desarrollo emitió una declaración conjunta pidiendo numerosas

medidas a las organizaciones internacionales. Igualmente grupos internacionales y Greenpeace han solicitado que se prohíban las exportaciones de maíz MG a México. Además el trabajo estimuló un intenso escrutinio científico y críticas detalladas de los métodos e interpretaciones del estudio. Sin embargo, Quist y Chapela, a pesar de haber reconocido una posible interpretación equivocada de algunos de los resultados obtenidos debido a la técnica molecular que utilizaron (PCR), mantuvieron sus conclusiones originales. Pese a esto, la reconocida revista, en una nota editorial en la edición del 11 de abril, señaló que las pruebas del trabajo eran insuficientes pero que, como los autores deseaban mantener sus conclusiones originales, la revista dejaría que los lectores juzgaran por sí mismos la calidad científica del artículo.

Los principales elementos de las críticas al estudio de Quist y Chapela se refieren a la metodología, los resultados y la interpretación de la técnica PCR inversa. No se efectuaron pruebas de confirmación de los resultados obtenidos con la PCR utilizando otras técnicas moleculares (Wager, 2002). Las críticas metodológicas causaron mayor controversia entre defensores y opositores de los cultivos MG. Los defensores, según una declaración difundida por Food First/Institute for Food and Development Policy (2002), acusaron a los investigadores Quist y Chapela de ser el banco de una campaña difamatoria orientada a desacreditar a científicos disidentes. Adicionalmente, los críticos del trabajo de Quist y Chapela han acusado a los autores y a sus defensores de ser fanáticos opositores a los cultivos MG (Universidad de Colorado, 2002d). Por otro lado, los opositores a los cultivos MG sostienen que la industria y los seguidores de estos cultivos han desviado el debate y no justifican que éste se centre en “metodologías científicas”, ya que según ellos existen indicadores claros que muestran la contaminación. Demandan que el CIMMYT reconozca la situación y que el CGIAR y la FAO trabajen en conjunto con el Convenio de Diversidad Biológica para detener y prevenir la contaminación en Mesoamérica; además se critica a las organizaciones intergubernamentales e instituciones científicas internacionales por entretenerse en debatir metodologías en lugar de cumplir con sus responsabilidades (Ribeiro, 2002).

El estudio realizado por Quist y Chapela, aislado del debate entre opositores y defensores de la tecnología transgénica, presenta serias implicaciones. Encontrar DNA transgénico en las razas criollas de maíz en Oaxaca, México es un hecho delicado que lleva a pensar que se requiere una mayor revisión de la reglamentación puesto que una posible explicación a este fenómeno es la importación o la introducción ilegal de maíz de Estados Unidos. Si bien existe una moratoria para la siembra de maíz transgénico en México, ésta no aplica para su venta o para consumo como alimento. Esta situación pudo haber generado la siembra ilegal de maíz transgénico en México y facilitar el flujo genético entre un cultivo MG y uno no MG. Por otra parte, con referencia a la afirmación sobre el desplazamiento del transgén por el genoma de las variedades de maíz criollo, miembros de la comunidad científica sostienen que, aunque puede ser cierta, no está apoyada en pruebas en este momento, lo cual indica que es necesario realizar más estudios sobre este aspecto (Colorado State University, 2002d).

Los posibles efectos del DNA transgénico sobre la diversidad genética del maíz en México es otra de las implicaciones que presenta este debate, si es cierto que existe tal flujo genético. Esta implicación, aunque ha permanecido aislada del debate, merece ser tomada en cuenta dentro de las consecuencias que se derivan del uso de la tecnología transgénica debido a que implica realizar investigaciones sobre el manejo de riesgos que incluya este aspecto así como sobre las normas de vigilancia, seguras y eficientes.

Otro hecho que se le adicionó a este debate fueron los resultados de un nuevo estudio que reveló que se había encontrado contaminación transgénica en las variedades de los campesinos en porcentajes de hasta 35% en comunidades de Oaxaca y Puebla. Estos resultados se hicieron públicos el 23 de enero, en un seminario realizado por organizaciones de la sociedad civil en México, y el estudio fue presentado conjuntamente por una representante de la Secretaría del Ambiente de ese país y el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (Ortiz, 2002). Ante esto hecho, el 19 de febrero de 2002, más de 140 organizaciones campesinas y otras de la sociedad civil de todo el

mundo dieron a conocer una declaración conjunta sobre la contaminación con maíz transgénico en México. A dicha declaración, los académicos protransgénicos redoblaron sus ataques y se cuestionó, por parte de la industria y el CIMMYT, a las organizaciones por no esperar una declaración sobre los asuntos metodológicos antes de hacer pública dicha declaración (Ribeiro, 2002). Para concluir, ya sea que el estudio de Quist y Chapela, en su procedimiento, presente deficiencias técnicas, es preciso analizar y evaluar cuidadosamente las implicaciones del flujo genético de maíz MG a variedades de maíz no MG que se encuentran en México.

2.4. Semillas con tecnología “terminador”

Debido a la preocupación que ha generado el flujo de genes de un cultivo MG hacia uno no MG, los biotecnólogos han desarrollado técnicas o mecanismos de contención de genes, con el fin de evitar que esto ocurra. Una de ellas, bastante controvertida globalmente por la sociedad civil, institutos internacionales de investigación agrícola, diferentes organizaciones ambientalistas, usuarios y ONG, ha sido la conocida “Tecnología Terminator”, la cual permite que el polen fertilice el óvulo y la formación de la semilla, las cuales, sin embargo, no germinan (UM CAFNR News, 2003).

Dado que los cultivos transgénicos presentan características de herencia mendeliana, se presenta segregación en su descendencia. Si el agricultor siembra las semillas obtenidas de su cultivo transgénico, el fenotipo de esta descendencia (y las generaciones subsiguientes) presentarán fenotipos diversos en donde no se expresará siempre la característica deseada (el transgén). Este hecho sumado a la preocupación del flujo de genes hacia las especies silvestres relacionadas de un cultivo transgénico, ha sido la base para que algunas industrias de biotecnología y algunos institutos de investigación desarrollen mecanismos de protección y prevención a nivel de polinización, germinación de la semilla, o viabilidad del embrión, con el fin de evitar la polinización cruzada entre plantas MG y no MG.

Este tipo de tecnologías no han sido bien recibidas por dos razones. La primera, que las semillas producidas son estériles lo que significa que el agricultor no

podrá sembrarlas en la cosecha siguiente, tal como ha ocurrido en el manejo tradicional de cultivos. El hecho de que un agricultor esté obligado en cada cosecha a comprar la semilla a la industria genera dependencia del agricultor hacia ésta, y el temor consiste en que se podría ver afectada la seguridad alimentaria del país. La segunda razón, es la inquietud de si un cultivo orgánico es polinizado por uno MG, son semillas para la venta podría contener el transgén. Para responder a esta segunda preocupación, la industria biotecnológica ha desarrollado otro mecanismo, el cual previene la polinización de tal manera que no hay producción de semilla. Este mecanismo implica las mismas preocupaciones que la “Tecnología Terminator” con referencia a la incapacidad del agricultor de conservar la semilla para la siguiente siembra (UM CAFNR News, 2003). Este debate se mantiene vigente, debido a que las patentes también se mantienen (Tabla 5) y las diferentes posiciones deben ser analizadas cuidadosamente, de acuerdo con los posibles impactos de la utilización de los cultivos transgénicos. Precisamente, a raíz de la fuerte presión pública, Monsanto se vio en la obligación de abandonar sus planes de venta para la Tecnología Terminator (Consumer international, 2000).

Tabla 5. Algunas patentes Terminator hasta 1999.

Empresa/Institución	Número de la patente	Fecha de emisión
Delta & Pine Line/USDA	US 5,925,808	20-07-1999
Delta & Pine Line/USDA	US 5,977,441	02-11-1999
Novartis	US 5,880,333	09-03-1999
Pionner Hi-Bred (DuPont)	US 5,859,341	12-01-1999
Cornell Research Foundation	US 5,859,328	12-01-1999
ExSeed Genetics, L.L.C./Iowa State Universty (Zeneca tiene una parte minoritaria de las acciones de ExSeed Genetics)	WO 9907211	18-02-1999
Purdue Research Foundation (Con apoyo de USDA)	WO 9911807	11-03-1999

3. Estado actual de las semillas transgénicas

Las semillas transgénicas de maíz, producidas por la industria biotecnológica y ya aprobadas, bien sea para siembra, consumo animal o humano y comercialización, son en su mayoría tolerantes a herbicidas, aunque de 25 variedades transgénicas descritas en Agbios Essential Biosafety (2002), 7 son tolerantes tanto a

insectos como a herbicidas y sólo una es tolerante solo a insectos (Tabla 6). Seis de estas variedades (eventos) están patentadas por Pioneer Hi-Bred International Inc®, Aventis CropScience® y Monsanto company® tienen 5 cada uno, sigue Syngenta seeds Inc® con tres, Dekalb Genetics Corporation® con dos y finalmente, Mycogen® y BASF Canadá® con una cada uno, completando los 25 eventos (AgBios Essential Biosafety, 2002).

Las variedades de maíz *Bt* aprovechables comercialmente, pueden ser clasificadas en cuatro grupos basados en genes *Bt*. DBT418, el cual es comercializado por Dekalb Genetics® como Bt-Xtra. El evento 176, desarrollado por Novartis® y Mycogen®, comercializado como KnockOut por Novartis® y como NatureGard por Mycogen®. Los dos eventos restantes desarrollados por Monsanto® y Novartis Seeds® son referidos como MON810 y *Bt11* respectivamente. El primero es comercializado como YieldGard, y el segundo como BiteGard (AgBios, 2002).

Tabla 6. Variedades transgénicas de maíz producidas y patentadas por la industria hasta el año 2002

Evento (Variedad)	Empresa	Característica
GA21	Monsanto®	Resistencia a herbicida – Glifosato
MON832	Monsanto®	Resistencia a herbicida – Glifosato
NK603	Monsanto®	Resistencia a herbicida – Glifosato
MON863	Monsanto®	Resistencia al gusano de la raíz del maíz
3751IR	Pioneer Hi.Bred®	Tolerancia a herbicida Imidazolinone
IT	Pioneer Hi.Bred®	Tolerancia a herbicida Imidazolinone
MON802	Monsanto®	Resist Insectos/Tolerancia Herbicidas
MON809	Pioneer Hi.Bred®	Resist insectos/Resistente a glifosato
EXP1910IT	Syngenta seeds®	Tolerancia a herbicida Imidazolinone-imazethapyr:
676	Pioneer Hi.Bred®	Tolerancia a herbicida phosphinothricin
678	Pioneer Hi.Bred®	Tolerancia a herbicida phosphinothricin
680	Pioneer Hi.Bred®	Tolerancia a herbicida phosphinothricin
MS3	Aventis CropScience®	Tolerancia a herbicida phosphinothricin
MS6	Aventis CropScience®	Tolerancia a herbicida phosphinothricin
176	Syngenta seeds®	Resist insectos/Tolerancia herbicida-glufosinato de amonio
BT11(X4334CBR, X4734CBR)	Syngenta seeds®	Resist insectos/Tolerancia herbicida-glufosinato de amonio
CBH-351	Aventis CropScience®	Resist insectos/Tolerancia herbicida-glufosinato de amonio
DBT 418	Dekalb Genetics®	Resist insectos/Tolerancia herbicida-glufosinato de amonio
TC1507	Mycogen®	Resist insectos/Tolerancia herbicida-glufosinato de amonio
B16 (DLL25)	Dekalb Genetics®	Tolerancia herbicida – Glufosinato de amonio
T14	Aventis CropScience®	Tolerancia herbicida – Glufosinato de amonio
T25	Aventis CropScience®	Tolerancia herbicida – Glufosinato de amonio
MON80100	Monsanto®	Tolerancia al Barrenador Europeo del maíz (<i>Ostrinia nublalis</i>)
MON810	Monsanto®	Tolerancia al Barrenador Europeo del maíz (<i>Ostrinia nublalis</i>)
DK 404SR	BASF Canadá®	Tolerancia herbicida – ciclohexanone (setoxidim)

Fuente: Essential Biosafety, Edition 2, AgBios, 2002.

De acuerdo con James (2002), el cultivo MG que más se sembró comercialmente en el año 2002 en siete países, es una variedad de soya tolerante a

herbicidas. Globalmente, esta soya ocupó 36.5 millones de hectáreas, que representa el 62% del área global de cultivos MG. El segundo cultivo que más se sembró fue el maíz *Bt* que ocupó 7.7 millones de hectáreas, equivalentes al 13% del área global de cultivos MG en siete países: Estados Unidos, Canadá, Argentina, Suráfrica, España, Honduras y Alemania (Tabla 7).

Tabla 7. Cultivos transgénicos dominantes, 2002

Cultivo	Millones de Hectáreas	% transgénicos
Soya tolerante a herbicida	36.5	62
Maíz Bt	7.7	13
Canola tolerante a herbicidas	3.0	5
Maíz tolerante a herbicidas	2.5	4
Algodón Bt	2.4	4
Algodón tolerante a herbicidas	2.2	4
Algodón tolerante a herbicidas y a Bt	2.2	4
Maíz tolerante a herbicidas y a Bt	2.2	4
Total	58.7	100

Fuente: James, C 2002 Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2002. ISAAA Briefs No 27. ISAAA: Ithaca, NY.

4. Estrategias de introducción de semillas transgénicas en Colombia

A pesar de que la producción mundial de algunos cultivos transgénicos como la soya, el maíz (*Zea mays*), el algodón y la canola, representan una producción de 500 millones de toneladas anuales, sembradas en 58.7 millones de hectáreas, Colombia todavía no ha ingresado a este mercado. Aunque en los años 2002 y 2003 la industria ha iniciado el proceso de solicitud para introducir este tipo de tecnología en el campo, legalmente en Colombia sólo existen dos autorizaciones de siembra de cultivos transgénicos, de las cuales una siembra comercial corresponde al clavel azul, y otra, autorizada, por el ICA bajo el concepto de evaluaciones semicomerciales, de algodón *Bt*.

4.1. Clavel azul

La Sociedad de Flores Colombianas Ltda., mediante oficio de 5 de febrero de 1999, solicitó autorización para la introducción, investigación, producción y

comercialización de plantas de clavel modificado genéticamente de flor color azul, en Colombia, de propiedad de Florigene B.V. procedente de Australia - Holanda. Esta solicitud se tramitó de acuerdo con las formalidades legales y reglamentarias establecidas en la Resolución 03492 de 1998 del ICA, habiéndose realizado el respectivo análisis de riesgo, el cual fue presentado al CTN (ICA, 2000).

Florigene, empresa Australiano-Holandesa, ha desarrollado nuevas variedades de claveles con colores novedosos a través de métodos de modificación genética. Estas flores se han comercializado con éxito en varios países. El objetivo de cultivar estas plantas en Colombia es exportar las flores a Estados Unidos y a Europa. Esta clase de clavel ya ha sido cultivado y comercializado en Australia, Japón, Estados Unidos, Europa, Canadá y Ecuador. En 1996, el Comité de Consejo para la Manipulación Genética del Gobierno australiano fue el primer organismo que autorizó su comercialización, seguido por el gobierno de Estados Unidos que autorizó la venta de flores importadas en este país y cultivadas de plantas modificadas genéticamente, independientemente del lugar de cultivo (Florigene, 2002).

La modificación genética del clavel producido y comercializado por Florigene, consta de la inserción de tres genes: un gen resistente a herbicidas, que se utiliza para la selección de células modificadas en el cultivo del tejido (el gen es aislado del tabaco), un gen que codifica la enzima flavonoides -3'-5' hidroxilasa (es un gen de la petunia), y un gen que codifica la dihidroflavonol reductase, de la petunia. Las flores de las plantas modificadas genéticamente presentan un color diferente a la variedad original, creado por la presencia de pigmentos del delfinio, que no pueden ser producidos por vía natural por el clavel. Este tipo de modificación, fue denominado por Florigene como tecnología del gen azul (Florigene, 2002).

El ICA evaluó los riesgos potenciales de la actividad propuesta basados en la información suministrada por el solicitante en cuanto a la biología y las características del OMG y sus interacciones con la plantas receptora, conocimiento de las condiciones locales, ecológicas, agrícolas, información técnica sobre el tema. De la información suministrada por el solicitante, el ICA destacó los siguientes puntos

que sirvieron de base para el análisis: la especie no es originaria de Colombia. A pesar del extensivo cultivo en Colombia, el clavel no es maleza, ni se ha escapado de áreas de cultivo. Considera el antecedente de que el cultivo de clavel en Europa se ha sembrado por muchos años y nunca ha hibridizado con las especies existentes, el tiempo necesario para desarrollar semillas de clavel excede el período durante el cual una flor cortada se mantiene útil, ninguna de las plantas transgénicas multiplicadas en otros países como Ecuador o Japón no han presentado escapes accidentales al confinamiento, este clavel modificado genéticamente se comporta en el medio ambiente en forma similar a los claveles no modificados, no existen secuencias nocivas en el DNA insertado, la expresión de los genes insertados durante la propagación de claveles en otros países ha sido estable, y finalmente, aunque el clavel se puede polinizar por insectos lepidópteros, debido al número de pétalos en las flores y a la manera como se cosechan, empaican o exportan, no se les permite acceso a los insectos (ICA, 1999).

Después de ser estudiada y analizada detalladamente toda la información técnico-científica, exigida a Flores Colombianas Ltda., así como el resultado de la evaluación de riesgo, se concluyó que no existe indicio alguno de riesgo para la salud, el medio ambiente o la producción agropecuaria nacional al permitir la introducción de la citada planta de clavel de color azul al país. La autorización para la introducción de plantas de clavel modificado genéticamente de flor color azul al país con fines de multiplicación para producción de flor cortada, se hizo el 18 mayo de 2000 mediante la resolución 01219 del ICA. Igualmente, en dicha resolución, la Sociedad de Flores Colombianas Ltda, quedó obligada a cumplir con los requisitos fitosanitarios vigentes, de conformidad con las disposiciones de que trata la resolución No. 03492 del ICA y demás normas sobre la materia (ICA, 2000).

4.2. Algodón Nucotn 33B

El segundo caso que existe en Colombia de aprobación para siembra de cultivos transgénicos se hizo en marzo del año 2002. El Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad, CTN, del ICA, aprobó mediante el Acta 013 de 2002, la liberación

de ensayos o pruebas de evaluación semicomercial de algodón transgénico Nucofn 33B con el gen Bollgard resistente a plagas de Lepidópteros, propiedad de Monsanto (ICA, 2002).

En abril de 1999 la empresa Monsanto Colombiana Inc., presentó al ICA la solicitud para introducir, producir y comercializar en Colombia la variedad de algodón genéticamente modificada Nucofn 33B, la cual tiene incorporado el gen de *Bacillus thuringiensis*, con el fin de conferirle resistencia a insectos plaga lepidópteros.

En el marco de esta solicitud y por recomendación del Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad y Agrícola (CTN), el ICA, como autoridad de aplicación, adelantó dos estudios de evaluación: “*Estimación de la distancia a la cual el polen de algodón transgénico es transportado por polinizadores*” y “*Evaluación del efecto del gen Bollgard sobre poblaciones de artrópodos y anélidos en el cultivo del algodón*”, en el centro de Investigaciones Agropecuarias Turipaná de Corpoica, en Cereté (Córdoba). Los objetivos del primer ensayo fueron determinar la distancia del transporte de polen de las variedades Bollgard por insectos polinizadores a 5 m en surcos contiguos desde la fuente de polen, y determinar el transporte de polen de las variedades Bollgard por insectos polinizadores a una distancia mayor de 100 m en espacios libres desde la fuente de polen. Para el segundo estudio, los objetivos fueron determinar el efecto del gen Bollgard sobre las poblaciones de los principales artrópodos y anélidos y determinar el efecto del gen Bollgard sobre las plagas objetivo: complejo bellotero *Heliothis virescens* y *Helicoverpa zea*, del rosado colombiano *Saccadores piralis*, rosado de la India *Pectinophora gossypiella*. También se evaluó el efecto sobre Alabama, *Trichoplusia* y *Bucullatrix* (ICA, 2002).

En la reunión del CTN del 15 de marzo de 2002, la División de Semillas del ICA presentó los resultados de los estudios referidos, con base en los cuales el Consejo recomendó la aprobación de la solicitud presentada por la empresa Monsanto. En esta reunión, el Ministerio del Medio Ambiente planteó que requería evaluar más a fondo las implicaciones del uso de esta tecnología, para recomendar su

uso a nivel comercial. Mediante oficio 03871 del 6 de mayo de 2002, el gerente general del ICA remitió, al Ministerio del Medio Ambiente, los documentos en los que se presentan los resultados finales de los proyectos de investigación mencionados. El 31 de mayo de 2002, este Ministerio remitió a su vez, copia de los resultados de los estudios al Director General del Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt, a la Directora General del Instituto SINCHI, al Director de la Unidad de Vinculación Tecnológica de Corpoica, al presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, al Decano de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Sede Bogotá y al Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Sede Palmira, solicitando el análisis y evaluación de los mismos y sus consideraciones sobre las posibilidades de uso de la tecnología Bollgard a mayor escala (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

4.2.1. Síntesis de las consideraciones sobre los resultados de los estudios en algodón

El Ministerio del Medio Ambiente (2002), con base en el análisis y evaluación realizados por los diferentes centros académicos y de investigación a los que remitió los estudios mencionados, emitió un concepto técnico, documento que tiene como título: “Estudio de la solicitud de introducción, producción y comercialización en Colombia de la variedad de algodón genéticamente modificada, Nucofn 33B”, en el cual sintetiza las consideraciones de cada uno de los centros de investigación consultados.

Con respecto al estudio sobre “*Estimación de la distancia a la cual el polen de algodón transgénico es transportado por polinizadores*”, se utilizó la metodología de GeneCheck Btk, desarrollada por Monsanto, la cual determina la presencia de la proteína Cry 1A, confirmando la expresión del gen introducido y la ocurrencia del cruzamiento. Según el ICA, los resultados “indican que no hubo transporte de polen de la variedad con la tecnología Bollgard, ya que el porcentaje de hibridación natural encontrado, del 1.25, estadísticamente no es diferente a cero”:

El Ministerio del Medio Ambiente no comparte esta interpretación de los resultados, *“puesto que en términos biológicos, la evidencia presentada es que sí ocurrió hibridación y este hecho no puede ser despreciado, así se interprete que estadísticamente es no significativo. Desde el punto de vista del riesgo biológico, debido a que se presentó una sola muestra que dio positiva a la prueba que constata la expresión del gen, significa que existe la probabilidad de que a cualquiera de las distancias a las cuales los polinizadores pueden transportar el polen, se puede presentar hibridación”*. Esta opinión es compartida por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional sede Bogotá, por el Instituto Alexander von Humboldt y por los expertos de Corpoica, para quienes los ensayos demostraron la ocurrencia de la hibridación natural. En el mismo sentido manifestaron que la prueba de Gene-Check no puede considerarse como absolutamente confiable en términos científicos, puesto que la prueba sólo indica la presencia de la proteína, como expresión del gen, lo cual no es contundente para descartar la hibridación, en términos biológicos, sin que se demuestre la expresión del mismo. Corpoica consideró que las condiciones necesarias para que se presente el cruzamiento están dadas por la viabilidad del polen, por la presencia de especies emparentadas o compatibles y por el factor de dispersión del polen. Ninguno de estos aspectos se tuvo en cuenta de manera rigurosa en el estudio en mención. Adicionalmente, la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional, destacó que se debe tener en cuenta que un experimento, desarrollado en un solo ciclo de cultivo y en un solo ambiente, no puede ser considerado como absolutamente confiable para determinar el verdadero grado de cruzamiento natural en campo (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Con respecto al estudio “Evaluación del efecto del gen Bollgard sobre poblaciones de artrópodos y anélidos en el cultivo del algodón”, de acuerdo con los resultados, el ICA concluye que en las parcelas en donde se sembró la variedad modificada, los insectos del orden Lepidóptera no alcanzaron niveles de daño económico que justificara control químico, un resultado benéfico del uso de la tecnología. Igualmente el ICA concluye que respecto a la abundancia total de artrópodos y anélidos no hubo diferencias estadísticas significativas para las fuentes

de variación, métodos de control, variedades, ni la interacción entre éstas. Sin embargo y como lo destaca la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional, en muchas de las tablas de ANOVA presentadas, se muestran diferencias estadísticamente significativas entre repeticiones, lo que permite inferir que posiblemente las repeticiones no fueron homogéneas o representativas del tratamiento. Igualmente se manifiesta que el análisis de los datos sólo hasta el nivel de órdenes o máximo a familias hace el estudio muy vago, pues éstos son taxones muy grandes con una amplia variabilidad entre familias y no se pueden generalizar resultados como efecto sobre toda una familia de insectos cuando sólo aparece una o pocas especies, y que con mayor razón no se puede extrapolar esta información a todo un orden de insectos, especialmente a órdenes tan diversos como Coleóptera o Hymenóptera. Así mismo, manifiesta que las conclusiones son un poco generales respecto a los datos, pues el estudio corresponde a una sola localidad y a una sola época de siembra y tanto las condiciones ambientales como la diversidad de artrópodos varían significativamente entre localidades y entre épocas, lo cual puede poner en tela de juicio algunas de las conclusiones (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

A partir de los conceptos emitidos por estas instituciones el Ministerio del Medio Ambiente planteó que *“los resultados de los proyectos realizados en Córdoba no se pueden extrapolar a las demás áreas del país y sólo se deben circunscribir a las condiciones en que se adelantaron a la metodología aplicada y al sistema empleado para el manejo del cultivo. Considera que se debe hacer una evaluación más a fondo de las implicaciones del uso de la tecnología Bollgard a nivel comercial. Dicha evaluación debe ser a un alto nivel y de manera integral con expertos en temas de biotecnología, bioseguridad, biodiversidad y medio ambiente, con la participación de las Corporaciones Autónomas Regionales con jurisdicción en las áreas en las cuales se contemplen las eventuales liberaciones y también se debe incluir a la sociedad civil, a los potenciales usuarios y a las entidades con competencia en el tema”* (Ministerio del Medio Ambiente 2002).

De otra parte, el Ministerio del Medio Ambiente, cuestionó el concepto de *ensayos semicomerciales*: “*se debe definir los alcances y los objetivos de los ensayos semicomerciales tanto en el ámbito experimental como en el comercial. De igual manera, es necesario que se presente la argumentación que sustente y justifique la utilización de un área aproximada de 2000 hectáreas para el desarrollo de los ensayos en dicha región agroecológica*” (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Como consecuencia de lo anterior, el Ministerio del Medio Ambiente le planteó al ICA recomendaciones técnicas y evaluaciones adicionales para ser aplicadas a las siembras semicomerciales. Estas evaluaciones se refieren a: evaluación de flujo de genes hacia las especies y variedades silvestres y cultivadas compatibles con el algodón *Bt* en diferentes regiones del país; evaluaciones durante varios ciclos de cultivo, sobre viabilidad del polen, grado de flujo de polen y de hibridación natural, considerando los factores bióticos (dinámica de poblaciones de los insectos polinizadores) y abióticos (estaciones climáticas) que intervienen en la dispersión del polen, teniendo en cuenta todas las especies emparentadas compatibles con el algodón *Bt*; estudios sobre estrategias para evitar el desarrollo de la resistencia de los insectos a la toxina del *Bt* producidas por las plantas y evaluaciones sobre la eficiencia de los refugios para este fin; estudios de bioseguridad en condiciones confinadas sobre poblaciones de artrópodos y anélidos, especialmente sobre poblaciones plaga no objetivo, en las diferentes regiones aldoneras del país y durante varios ciclos de cultivo, puesto que la diversidad de artrópodos varía en diferentes condiciones ambientales, entre regiones y entre épocas; estudios, durante varios ciclos de cultivo, en las diferentes regiones ecológicas donde se cultiva algodón que, evalúe los posibles efectos de la toxina *Bt* en los microorganismos del suelo y los posibles impactos en la cadena trófica; estudios de alergenicidad y toxicidad en animales, de tal forma que permitan evaluar los posibles efectos que tienen los marcadores genéticos que generan resistencia a los antibióticos y los promotores virales, que son utilizados en la construcción genética del algodón *Bt*; y finalmente estudios socioeconómicos que incluyan los posibles efectos que tiene la adopción de este tipo de tecnologías en la producción agrícola nacional, en los

agricultores y en los consumidores; de tal forma que permitan dimensionar los posibles riesgos, impactos y beneficios que estas tecnologías podrían generar en Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

4.2.2. Autorización de la importación de semilla de algodón Nucotn 33B

Finalmente, el ICA mediante la resolución 1035 de mayo 10 de 2002, autorizó la importación de hasta 50.000 kilogramos de semilla de la variedad de algodón Nucotn 33B, con destino a ensayos semicomerciales de aproximadamente 2000 hectáreas en el agroecosistema Caribe Húmedo, en el segundo semestre de 2002. Dicho hectareaje corresponde aproximadamente, al 10% del área total de siembra que se estima para la región en la temporada del presente año. Igualmente, la resolución 1035 establece que en la planeación y ejecución de los ensayos se cumplirán las disposiciones de que trata la resolución No. 03492 de 1998 del ICA y demás normas vigentes sobre la materia (ICA, 2002).

Para el cultivo del segundo semestre de 2002 en el cual se tenía previsto sembrar las 2000 hectáreas de algodón Nucotn 33B aprobadas por el ICA, solo se sembraron 207 hectáreas. Esta decisión obedeció a que la multinacional Monsanto no dispuso de la totalidad de la semilla aprobada para este período de siembra (ICA, 2002).

Aunque inicialmente la liberación de algodón *Bt* es sólo en la región Caribe, el Ministro de Agricultura ha declarado que las siembras se harán también en otras regiones algodonerías que se encuentran ubicadas en el Valle del Cauca, Tolima y Llanos Orientales. Adicionalmente, afirmó que se iniciarán siembras de maíz y soya transgénicos (Ministerio de Agricultura, 2003).

5. Posibles riesgos o impactos que presenta la liberación de OMG en Colombia

5.1. Flujo de genes

Los riesgos que podría presentar la liberación de cultivos MG en Colombia, sobre el medio ambiente, sobre la salud y riesgos socioeconómicos se describieron en

el capítulo 2 del marco teórico de este documento. Para el caso de Colombia, se deben tener en cuenta aspectos particulares en el momento de evaluar los posibles riesgos que se pueden presentar ante la introducción de cultivos transgénicos. Estas características están relacionadas con su posición geográfica, como país tropical, la cual corresponde a país megadiverso, centro de origen y/o diversificación de cultivos como yuca, frijol, papa, tomate, algodón y maíz, entre otros cultivos básicos para la alimentación humana (Tabla 8).

Tabla 8. Diversidad de los principales cultivos de los cuales Colombia es centro de origen o diversificación

Especie	Número de accesiones
Maíz	2098
Algodón	667
Yuca	340
Ñame	103
Arroz	370
Cacao	558
Trigo	95
Frutales	854*
Hortícolas	3159**

Fuente: Reyes & Luzardo, 1992

*En Palmira, se conservan en campo 220 números de cítricos, 47 de frutas tropicales menores, 36 de papaya, 32 de uva, 28 de guayaba, 16 de guanábana y unas pocas de atemoya, macadamia, inchi y carambola. Producto de la exploración y colección de germoplasma silvestre de frutales efectuada en 1983 se recolectaron en el país 258 materiales correspondientes a lulo, curuba, granadilla, guayaba, mora, tomate de árbol, uchuva, papaya y frambuesa. Semilla de estas especies se mantienen a mediano plazo en el banco base del centro de Investigaciones de Tibaitatá.

** En su gran mayoría correspondientes a tomate (1283), ají dulce y picante (272), zapallo (104) y cebolla (35). La exploración de materiales silvestres hortícolas efectuada en 1983, aportó cerca de 230 accesiones, semilla que se encuentra en el banco base de Tibaitatá. Las colecciones mejor caracterizadas corresponden a las especies de cebolla de rama, tomate, ají y zapallo. Otras colecciones activas se mantienen en los centros experimentales de La Selva y Palmira.

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que en cada una de las regiones en la cuales se producen estos cultivos, existen comunidades locales, pequeños y medianos agricultores que hacen un manejo local de la agricultura asociado con prácticas tradicionales, las cuales están relacionadas con su cultura, razón por la cual, para la mayoría de los casos existen variedades locales y/o regionales seleccionadas y desarrolladas durante largo tiempo. Es por esto que en países como Colombia, el hecho de introducir cultivos MG implica realizar evaluaciones de riesgos adicionales, las cuales podría tornarse más complicadas por encontrarse en ambientes más diversos. Este es el caso de las regiones que son centros de origen y de diversificación de los cultivos, en donde por lo general se encuentran altos niveles de complejidad biológica y cultural (Ortiz, 2002).

Uno de los posibles riesgos ambientales que podría generar la introducción de OMG, se refiere a la transferencia de genes del cultivo MG a un cultivo no MG. Para algunos sectores que hacen parte del debate internacional sobre OMG, especialmente para la comunidad científica, este posible riesgo podría, en lugar de presentar consecuencias adversas, resultar en una ventaja para el agricultor, tanto en el ámbito de producción, como en el económico e incrementar la diversidad genética. Adoptar la tecnología de la transgénesis en un cultivo puede ser costoso para un agricultor de Colombia. El hecho de presentarse en un momento dado dicha transferencia de genes hacia sus variedades locales, podría ser un ahorro para el agricultor debido a que adquiere tecnología sin que esto le represente un costo adicional, con la ventaja de tener entonces, un cultivo adaptado a las condiciones locales de su región y además con ciertas características tales como resistencia a una determinada plaga, según sea el caso del gen transferido. Este hecho puede convertirse también en un problema legal para el agricultor. En marzo de 2001, por ejemplo, Monsanto demandó a Percy Schmeiser, agricultor canadiense de canola por utilizar semillas con material transgénico de Monsanto. Schmeiser aclaró que durante mucho tiempo ha cultivado canola orgánica, pero que hace dos años a sus cultivos se les transfirió polen de la canola transgénica cultivada por sus vecinos (60% de la canola producida en Saskatchewan, Canadá, es transgénica.), Schmeiser guardó, tal como lo había hecho

siempre, semillas de su cosecha y las plantó en los ciclos siguientes. Posteriormente, inspectores de Monsanto tomaron muestras en sus cultivos y su análisis reveló la presencia de material transgénico proveniente de las semillas de canola con el gen resistente a los herbicidas producidos por Monsanto. Los abogados de la empresa demandaron a este agricultor presuntamente por supuestamente violar leyes de propiedad industrial. La corte condenó a Schmeiser a pagar 85 mil dólares por uso indebido de tecnología patentada. Ante esto, Schmeiser interpuso un recurso de apelación. En respuesta, a mediados de enero de 2002, la Confederación de Agricultores Orgánicos de Saskatchewan demandó a Monsanto y a Aventis por “contaminar” sus campos de cultivo de canola orgánica con canola transgénica. Debido a que la certificación para canola orgánica no tolera la presencia de material transgénico, el daño económico se considera alto puesto que el mercado europeo paga un sobreprecio por ésta. Bajo las actuales circunstancias, se afecta notablemente este mercado, por lo cual la demanda contra Monsanto y Aventis incluye una suma multimillonaria para compensar las pérdidas del agricultor (Nadal, 2002).

Este tipo de situaciones, es necesario tenerlas en cuenta en Colombia en el momento de aprobar la introducción y comercialización de un cultivo MG, debido a que el flujo de genes es un proceso natural y puede ocurrir en los campos de cultivo cercanos a un cultivo MG. Para el caso de Colombia es necesario realizar las evaluaciones de flujo de genes y tomar medidas eficientes de manejo de riesgo de tal forma que los agricultores que no cultivan transgénicos no queden expuestos a una situación legal que pueda perjudicarlos. Igualmente, es responsabilidad de las empresas multinacionales velar para que esto no ocurra mediante el fortalecimiento de los programas de manejo de riesgo. Estas situaciones, en algunas ocasiones pueden ser atribuidas también a la siembra intencionada de los agricultores que se encuentran cerca de un cultivo MG, quienes acceden a la semilla de manera ilegal y siembran en su parcela. Para evitar este tipo de siembra ilegal es recomendable, fortalecer los programas de capacitación de agricultores desde el gobierno nacional. En Colombia aún no se ha presentado este evento debido a que no se ha masificado la

siembra de cultivos transgénicos, pero se debe tener claro que en el momento en el que llegue dicha situación, debe existir suficiente capacidad técnica en las zonas rurales de tal forma que la presencia de transgenes en cultivos orgánicos o convencionales sea evaluada y tenida en cuenta con el fin de diseñar estrategias adecuadas para su control. Esto es especialmente importante si se tiene en cuenta que para los agricultores, el flujo de genes no necesariamente implica aumento de diversidad ni garantiza mejoramiento. Tal como ocurrió en el caso de Canadá descrito anteriormente, en el cual se afectó el mercado europeo.

Como conclusión de este aspecto, queda claro que para el caso de Colombia este hecho presenta una de las razones por las cuales se debe fortalecer la capacidad técnica en las zonas rurales en las cuales se tiene previsto liberar cultivos MG. Adicionalmente, se muestra cómo la transferencia de genes de un cultivo MG a un cultivo no MG puede resultar en un impacto social y económico no deseado, el cual debe ser analizado, manejado y tenido en cuenta en los estudios de evaluación y gestión de riesgo.

Con respecto al flujo de genes, para el caso de especies que presentan gran facilidad de recombinarse con especies silvestres relacionadas, como es el caso del maíz (por ser una planta autógama), se deben tomar medidas bastante rigurosas especialmente en países como Colombia en donde existen especies silvestres y variedades locales relacionadas en el ambiente receptor. Un posible mecanismo para evitar el flujo de genes en los ecosistemas de Colombia, es reforzar los inventarios y realizar caracterizaciones completas de la diversidad de variedades cultivadas, con el fin de llegar a una zonificación para determinar las regiones en las cuales no se encuentra maíz o cualquier cultivo con estas características, en forma silvestre, de tal manera que pueda tomarse la decisión de sembrar en esas zonas maíz MG. Por ejemplo en Estados Unidos no se permite sembrar algodón *Bt* en el sur de la Florida y en Hawai. La razón en Hawai, es la presencia de *Gossypium tomentosum* y en el sur de Florida, la razón es la presencia de *Gossypium hiesutum* en el parque Nacional Everglades y en Florida Keys, de tal manera que la EPA estableció que Monsanto no

sembrara algodón *Bt* en lugares donde se presentaran especies silvestres de algodón (EPA, 2000a). De la misma manera, la familia de las Brassicaceae, a la cual pertenece la canola, abarca muchas especies silvestres en Europa. Por esta razón Europa puede considerarse un centro de diversidad de estas familias de plantas, por lo tanto puede existir la probabilidad de ocurrir flujo de genes de un cultivo MG de canola hacia las variedades silvestres relacionadas. Esta situación llevó al gobierno francés a anunciar una moratoria sobre la liberación de canola MG (Barling, 1999).

Para el caso de Colombia, si el objetivo es introducir maíz MG, es necesario también determinar los lugares, de acuerdo con los inventarios que se propone que se realicen, en los cuales existe mayor número de especies o variedades locales de maíz tradicional o simplemente mayor población de una misma especie o razas criollas. Una vez se establezcan las zonas de mayor posibilidad de flujo de genes, se puede proseguir a realizar ensayos de campo en aquellas zonas en las cuales se cause el menor flujo genético hacia las especies silvestres relacionadas. Adicionalmente, aunque se decida realizar los ensayos de campo en las zonas de menor impacto, es necesario llevar a cabo un plan de manejo de riesgos adecuado que incluya también el manejo del flujo de genes. En caso de encontrarse gran diversidad de especies de maíz en la totalidad del área de Colombia, y se considere que el flujo de genes es alto, lo recomendable será no introducir cultivos de maíz MG, de la misma manera como se procedió en el sur de Florida y en Hawai con el algodón *Bt*, o como Francia con la canola. En este orden de ideas, una de las razones por las cuales se liberó comercialmente el maíz YieldGard en Estados Unidos, fue porque en las evaluaciones de riesgos que se realizaron, se concluyó que el maíz no presentaba especies silvestres relacionadas en el área continental de Estados Unidos (AgBios, 2002). Es importante tener en cuenta que el hecho de no adoptar un determinado cultivo MG en una zona específica del país o en un país determinado, no implica dejar de adoptar otro tipo de cultivos MG, puesto que las evaluaciones son caso por caso y existe la posibilidad de que otros cultivos no presenten probabilidad de riesgos o que no presenten especies relacionadas en el ambiente receptor.

Otro aspecto que debe incluirse en las evaluaciones, antes de liberar maíz transgénico en Colombia, es el aspecto socioeconómico. Para el caso del maíz, es recomendable preguntarse si en Colombia realmente se necesita introducir este tipo de maíz, mediante estudios costo-beneficio. Posteriormente, de acuerdo con estos estudios, tomar la decisión que sea más adecuada.

Para concluir, se puede decir del flujo de genes de cultivos MG a cultivos no MG es uno de los riesgos que ha requerido especial investigación y capacitación para su manejo. Esta preocupación ha llevado a desarrollar sistemas de contención de genes, en la futuras liberaciones de cultivos MG, que tengan en cuenta las características particulares del cultivo y el ambiente en el cual se vayan a liberar. Ya se han desarrollado algunos sistemas de contención de flujo de genes, a través del polen o de semillas. Entre estos sistemas se encuentra la herencia materna, la esterilidad masculina (que ha sido estudiada en Canola), la esterilidad de las semillas (conocida como tecnología de restricción de genes o de protección de genes - terminator) y la incompatibilidad del genoma, entre otros. Ninguna de estas propuestas ha sido aplicada en cultivos transgénicos comercialmente, y algunas presentan cuestionamientos que hacen parte del debate mundial referente a los OMG (Daniell, 2002). Este es el caso de la propuesta sobre la esterilidad de las semillas (“terminador”), la cual ya tiene varias solicitudes de patente por parte de la industria y ha generado preocupaciones relacionadas con la no posibilidad por parte de los agricultores de guardar sus semillas y por lo tanto la incapacidad de utilizarlas para la siguiente cosecha, tal como se ha practicado durante siglos. Aunque algunas multinacionales como Monsanto han renunciado al uso de la “Tecnología Terminator”, otras ya las han patentado. Estas patentes continúan vigentes hasta la fecha y el tema sigue siendo un punto central del debate sobre OMG. Dada esta situación, aún no se ha encontrado la solución, ni los mecanismos aplicados para controlar el flujo de genes en los cultivo MG.

5.2. Resistencia a herbicidas

Algunas investigaciones indican que las características de los cultivos MG podrían escapar al ámbito agrícola y persistir en las poblaciones silvestres aledañas. Los genes que la proporcionan una ventaja competitiva a determinados cultivos, como la resistencia a las enfermedades virales o la resistencia a los herbicidas, al ser transferidos a las especies silvestres relacionadas podrían conferirles ventajas competitivas respecto a los cultivos o plantas relacionadas que circundan un campo de cultivo. Muchos cultivos tienen parientes silvestres sexualmente compatibles, con los cuales se cruzan en condiciones favorables. Las probabilidades de que se transfieran los transgenes pueden ser diferentes para cada cultivo, en cada zona del mundo (Colorado State University, 2002d). Por ejemplo, no existen parientes silvestres del maíz en Estados Unidos o Europa con los cuales pudiera cruzarse el maíz transgénico, pero sí existen esos parientes en México e incluso en Colombia, en donde, aunque no se presentan maíces nativos, sí existe una alta diversidad de variedades y razas locales debido a que es centro de diversificación de dicha especie. En algunos estudios de caso de arroz (*Oryza sativa*) resistente a herbicidas en zonas donde es común la presencia de arroz rojo (*Oryza sativa* spp) se ha mostrado la inconveniencia de utilización del cultivo MG con resistencia a herbicidas en estas regiones, debido a su potencial de transferir la característica de resistencia al arroz rojo, el cual a su vez puede convertirse en una maleza no controlada. En la región Pampeana en Argentina ya son varias las malezas que se cree son tolerantes a las dosis recomendadas de glifosato, entre las cuales se encuentran *Parietaria debilis*, *Petunia axilaris*, *Verbena litoralis*, *Verbena bonariensis*, *Hybanthus parviflorus*, *Iresine diffusa*, *Ipomoea sp* y *Commelina erecta*. Algunas de ellas son poco susceptibles a estas dosis lo que obliga a duplicar el volumen aplicado (Pengue, 2001). Debido a lo anterior, y según las condiciones de cada zona, la liberación de plantas con un gen de resistencia a herbicidas puede ser considerada inaceptable, si la planta se puede cruzar libremente con especies relacionadas que puedan generar el desarrollo de la resistencia al herbicida en dichas especies (Henry, 2000). Esta situación podría presentarse también en Colombia, por lo cual debe ser tenida en

cuenta y evaluada detenidamente en el momento de introducir un cultivo MG con resistencia a herbicidas.

También se discute en cuanto a los cultivos resistentes a herbicidas (RR), que éstos podrían disminuir el uso de herbicidas. Sin embargo se ha presentado diversidad de informes al respecto para el caso de la soya RR. En cuanto al maíz *Bt* y al algodón tolerante a herbicidas no han provocado disminuciones claras del uso de sustancias químicas (Colorado State University, 2002d). Esta situación se hace evidente en Argentina en donde diferentes estudios muestran tanto el aumento como la disminución del uso de herbicidas. Pengue (2001), muestra que el consumo de glifosato en Argentina pasó de 28 millones de litros utilizados en 1998 a 80 millones de litros en el 2001, los cuales, según el autor, han sido aplicados principalmente en cultivos de soya RR de Monsanto. Benbrook (2001) también mostró que la soya RR de Monsanto requiere más herbicidas que la soya convencional, cuando comparó las cantidades empleadas en estos dos cultivos utilizando datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. De otra parte, Dellacha³, en estudios realizados en Argentina, mostró que en el año 2000 se redujo la aplicación de herbicidas en soya transgénica. Esta diversidad de estudios sugiere la necesidad de evaluar caso por caso la introducción de un cultivo MG resistente a herbicidas en una zona determinada de un país determinado, de tal manera que se evalúe la conveniencia de su uso y sus efectos.

Otro aspecto relacionado con los cultivos resistentes a herbicidas es la reducción en el uso de mano de obra en actividades como el desyerbe manual, lo cual podría ser ventajoso en los sistemas de producción de los países desarrollados. Sin embargo para los países en desarrollo como Colombia es un aspecto que debe ser tenido en cuenta en los estudios de evaluación de riesgos debido a que en las zonas rurales se presenta una alta población que requiere ser empleada.

Dentro de las causas que han agudizado la crisis del sector agrícola en Colombia se destacan el desplazamiento de la población rural, las políticas de

³ Dellacha, J., 2003. REVYDET-CYTED Red Iberoamericana Multimodal de Vinculación y Desarrollo Biotecnológico. *Comunicación personal*.

tenencia de la tierra, entre otros, a los cuales no se les puede sumar el desplazamiento generado por la adopción de tecnologías que en algunas circunstancias pueden considerarse fuera del contexto social. Es por ello que deben realizarse estudios sobre los posibles impactos que puede generar la adopción de estas tecnologías sobre los sistemas de agricultura colombianos y los efectos en el desplazamiento del uso de mano de obra en el sector agrario. Existen estudios que muestran que en Argentina, después de haberse sembrado la soya RR de Monsanto, han desaparecido 60.000 explotaciones agropecuarias y han sido expulsados aproximadamente 300.000 pequeños y medianos agricultores debido a la concentración de 20 millones de hectáreas en menos de 2.000 empresas (Rulli, 2002).

Para responder al desplazamiento del uso de la mano de obra, algunos actores del debate mundial, señalan estudios que muestran que utilizando la tecnología transgénica existe la posibilidad de generar mayores empleos en la poscosecha. De esta manera el personal que fue desplazado en el manejo de la cosecha, será empleado en el manejo de poscosecha debido a que bajo este sistema de producción es posible generar mayores rendimientos. Como ejemplo de esto puede mencionarse el incremento de rendimiento en evaluaciones de campo realizadas en México, en donde el porcentaje de daño evaluado en cultivos *Bt* fue menor y por lo tanto su consecuente rendimiento mostró ser mayor. De otra parte, estudios realizados por la Universidad de Wisconsin, Madison, (Oplinger, 1999) en ocho estados de Estados Unidos (Illinois, Iowa, Michigan, Minnesota, Nebraska, Ohio, South Dakota y Wisconsin), muestran que el rendimiento de cultivos de soya transgénica RR son 4% inferiores a los rendimientos con las variedades convencionales. El desplazamiento de la mano de obra y los rendimientos del cultivo depende de las condiciones de la región, las plagas existentes y la variedad o material transgénico que se utilice. Estos aspectos deben ser evaluados caso por caso con el fin de recomendar su uso en un país o zona determinada.

5.3. El uso de plaguicidas

Uno de los argumentos a favor de las plantas transgénicas es su potencial para reducir el uso de plaguicidas. Para este fin se ha fomentado el uso de cultivos resistentes a las plagas como el maíz *Bt* y el algodón *Bt*. Esto ha sido demostrado sólo en algunos lugares, para el caso del algodón *Bt* se ha reportado en regiones particulares de Estados Unidos sobre la reducción en las aspersiones (Colorado State University, 2002d). Aunque para el caso de cultivos *Bt*, puede disminuir el uso de plaguicidas en el corto plazo, es necesario estudiar lo que pasaría a mediano y largo plazo, puesto que existe preocupación por la aparición de la resistencia de las plagas a la toxina *Bt* específica y la consecuente necesidad de acudir a otros insecticidas. En el caso que esta situación se presentara, podría generar que se regrese al uso de los plaguicidas en mayor intensidad que la situación original debido a que las plagas serían más tolerantes al plaguicida que al principio. Adicionalmente, debe estudiarse si en realidad el uso de los plaguicidas es en mayor intensidad que en la situación original. Ante esta situación existen diferentes estudios al respecto que muestran que el uso de plaguicidas se ha incrementado o se ha disminuido. En China, en algunos estudios realizados con *Bt*, se disminuyó de 13 aplicaciones de insecticidas a 2 o 3 aplicaciones. En estudios de caso, hay reportes sobre reducciones en el uso de plaguicidas con el uso de OMG, dependiendo de las características y condiciones del ambiente receptor y del cultivo MG utilizado (NCFAP National Center for Food & Agricultural Policy, 2002).

En una población de insectos, debido a que éstos presentan ciclos de vida cortos y dejan un número alto de descendientes, es común que presenten la capacidad de adaptarse rápidamente a las condiciones del ambiente. Para el caso de los cultivos *Bt*, el hecho de que los insectos estén expuestos permanentemente a la toxina del *Bt* puede resultar en el desarrollo de tolerancia o resistencia de la población de insectos a esta toxina, lo cual puede derivar en la ineficiencia del control del cultivo a las plagas. De la misma manera puede resultar con el control convencional de plagas basado en el uso de *Bt*, debido a que los insectos, bajo este control, también están expuestos a la toxina del *Bt*. Para los agricultores orgánicos que aplican *Bt* como control biológico, este es un método que ha sido utilizado durante años y aún no ha mostrado ser

ineficaz. Sin embargo, es necesario estudiar la intensidad de exposición a la toxina en los dos casos para determinar el método que puede volverse inefectivo a corto plazo y sus posibles medidas de manejo.

Para el caso de los cultivos transgénicos *Bt*, los insectos son expuestos a una alta presión de control y sólo una pequeña fracción de los individuos más resistentes sobrevive. Si estos insectos resistentes sólo se cruzan entre sí, se generará a través del tiempo una población resistente. Para evitarlo se ha planteado como solución la siembra, dentro del cultivo, de áreas de maíz no *Bt*, refugios, permitiendo así el desarrollo de un porcentaje de individuos susceptibles (AgBios, 2002).

El manejo de la resistencia de insectos parte de dos principios. Al aumentar la superficie sembrada con maíz *Bt*, y debido a la alta expresión de la proteína Cry1A (b) en los tejidos de la planta, aumentará la población del insecto expuesta a la toxina *Bt*. Al igual que lo que sucede con la aplicación reiterada de altas dosis de insecticidas, cuando una población de insectos es sometida a una alta presión de control, sólo una pequeña fracción de los individuos más resistentes sobrevive. Estas larvas sobrevivientes completarán su ciclo, cruzándose entre ellas y generando a través del tiempo una población resistente. El segundo principio del manejo de resistencia de insectos es la utilización de refugios. Los refugios consisten en una porción del cultivo sembrado con maíz no *Bt*, que constituirá la fuente alimenticia de las larvas susceptibles (al no estar expuestas a la proteína *Bt* las larvas podrán desarrollarse normalmente). Para alargar el desarrollo de poblaciones resistentes y disminuir la pérdida de eficiencia de control del maíz *Bt*, es necesario realizar un Manejo de Resistencia de Insectos (MRI), que se fundamenta en: -una alta dosis de *Bt* que permita un efectivo control y -la utilización de refugios. El maíz *Bt* produce niveles muy altos de proteína eliminando tanto las larvas homocigotas susceptibles (ss) como las heterocigotas (sr) y permitiendo sólo la supervivencia de una pequeña porción de larvas resistentes (rr). Por esta razón es necesario asegurar de alguna manera una pequeña cantidad de individuos susceptibles que a través de su cruzamiento con los resistentes, tengan la posibilidad de restablecer la frecuencia

normal de individuos susceptibles / resistentes (Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria, 2002).

La siembra de refugios *Bt* debe tener en cuenta que éstos deben ser sembrados con un maíz no *Bt* de ciclo similar al maíz *Bt* utilizado, con el fin de mantener su eficiencia y facilitar el manejo. Se recomienda a los agricultores que siembren como mínimo un 20% de maíz no *Bt*. No se deberá realizar ningún tratamiento adicional contra la plaga dentro del refugio y especialmente no se debe utilizar productos microbianos a base de *Bacillus thuringiensis*, en el caso de no poder sembrar el refugio dentro del cultivo *Bt*, debe establecerse a un máximo de 750 metros de la parcela sembrada con maíz *Bt* (Syngenta Seeds, 2002).

El manejo de la resistencia de los insectos a la toxina del *Bt* mediante refugios ha sido cuestionado y hace parte del debate mundial sobre transgénicos. Modelos de simulación por computador muestran que en una población que sea AA resistente a la toxina, cruzándola con una población aa susceptible, la evolución de la resistencia es retrasada substancialmente (Union of Concerned Scientists, 1998). Esto no quiere decir que el carácter de la resistencia necesariamente sea dominante, lo cual es difícil de demostrar científicamente debido a que para ello influye tanto el genotipo de la especie como su entorno ambiental (específicamente la presión de selección dada por la concentración de la toxina). Sin embargo se predice que si un homocigoto resistente se cruza con un homocigoto susceptible, es seguro que la resistencia se alargue. En condiciones de campo, si se trata de un cultivo de maíz a gran escala, la probabilidad de que se cruce el homocigoto resistente con el homocigoto recesivo, es baja debido a que algunas zonas del cultivo van a estar alejadas de los refugios. En estas zonas alejadas puede existir la probabilidad de que se crucen dos insectos resistentes a la toxina, ya sean, sus alelos, dominantes o recesivos.

Cuando el refugio es pequeño el retraso de la resistencia también será bajo, debido a que hay menos población que no ha adquirido la resistencia (la que se encuentra en el refugio) con la cual se puedan cruzar los insectos que están expuestos a la toxina (fuera del refugio). La pérdida de insectos susceptibles incrementa la

proporción de la población de plagas expuestas a la toxina, acelerando la evolución de la resistencia.

Sin embargo, el establecimiento de refugios es una aproximación al manejo de la resistencia de los insectos a la toxina que debe ser evaluada en los ensayos de campo de cultivos *Bt* y debe tenerse en cuenta en los planes de manejo de los mismos. Igualmente debe establecerse un porcentaje adecuado de refugios respecto al cultivo total de maíz *Bt*, dependiendo de las características de la región y las condiciones del ambiente receptor. Adicionalmente debe tenerse en cuenta que en estudios de campo (AgBios, 2002) se ha demostrado que algunas variedades de plantas transgénicas basadas en *Bt* como es el caso del evento *Bt* 176, ya retirada del mercado en 2001, o como el evento MON810, son eficaces en la primera y segunda generación pero ésta disminuye en las siguientes generaciones. Este aspecto debe ser estudiado con mayor profundidad.

5.4. Riesgos en la salud

La generación actual de OMG, con frecuencia, contiene genes marcadores, algunos de los cuales codifican la resistencia a los antibióticos. En esos casos es importante considerar si el alimento derivado de un organismo con un gen de ese tipo sería substancialmente equivalente a un producto convencional. Entre las preguntas que deben responderse se encuentran, si los genes marcadores codifican una proteína, como una enzima que cataliza la descomposición de un antibiótico y, de ser así, qué niveles de esa proteína (si los hay) se esperarían en los alimentos. Es decir, se debe tener en cuenta si ese gen codifica la resistencia a un antibiótico útil clínicamente y, de ser así, si alguien está siendo tratado con ese antibiótico. Igualmente, tener en cuenta si la ingestión del alimento puede interferir con la actividad de la droga. Debe tenerse en cuenta también si es completamente probable que el gen pueda ser transferido a otros organismos, como microorganismos presentes en los alimentos o en el intestino del consumidor. Para las enzimas alimentarias producidas por organismos modificados genéticamente, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) consideró que los niveles de genes marcadores o de

sus productos en los alimentos serían casi siempre insignificantes biológicamente. Sin embargo debe estudiarse si sería efectivo lo mismo en el caso de las plantas con genes marcadores. En un taller organizado por la Unidad de Seguridad Alimentaria de la Organización Mundial de la Salud OMS, se concluyó que no existen pruebas registradas de la transferencia de genes desde las plantas a microorganismos en el intestino. Esto es probable que ocurra pero por razones teóricas tal probabilidad es baja, ya que el mecanismo que controla la expresión de los genes es fundamentalmente diferente en las bacterias y en las plantas. A menos que el gen transferido a la planta estuviese bajo el control de un sistema bacteriano (y, por lo tanto fuese capaz de expresarse en la planta) no habría ningún mecanismo para la expresión de ese gen, incluso si fuese transferido a las bacterias del intestino (ILSI, 2000).

Debido a las preocupaciones generadas en relación con los genes marcadores de selección, se han desarrollado nuevos mecanismos para seleccionar los casos exitosos en la producción de transgénicos. Estos mecanismos se refieren a la remoción de estos genes marcadores de la construcción de la planta transgénica y al desarrollo de marcadores alternos (Marco teórico, capítulo 1, Galun & Breiman, 1998). Sin embargo, estos nuevos marcadores también deben ser evaluados.

Entre los riesgos para la salud humana está el de transferir genes codificadores de toxinas de un organismo a otro, de crear nuevas toxinas o de transferir genes que codifiquen compuestos potencialmente alergénicos de una especie a otra, lo que podría desembocar en reacciones alérgicas imprevistas. Otra preocupación es la de los efectos que los productos derivados de la biotecnología podrían tener en los animales de granja (FAO, 2000).

Para liberar un nuevo producto MG se realizan evaluaciones de posibles efectos sobre la salud humana que incluyen posibles efectos de alergenicidad, toxicidad o reacciones adversas. En relación con evaluaciones de inocuidad de un OMG como alimento se utiliza el concepto de equivalencia substancial, que fue establecido por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico en 1993 y adoptado desde 1996 (Sempau, 2001).

El enfoque de la "equivalencia sustancial" no es una evaluación de seguridad en sí misma, sino un componente mediante aproximación analítica para la evaluación de un alimento obtenido mediante manipulación genética comparado con uno que ya existe (convencional, considerado como del mismo genotipo pero sin el transgén y que tenga historia de uso seguro). Al determinar la "equivalencia sustancial", se estudia principalmente el gen nuevo (introducido) y su producto, secuencias del gen, análisis bromatológicos (contenido de calcio, carbohidratos, fibra, humedad, grasa y fósforo) y secuencias de aminoácidos. Si la comparación entre ambos no muestra diferencias, entonces el consumo del OGM se considera tan inocuo como el convencional. Por el contrario, si la comparación entre ambos revela diferencias (por ejemplo en sus características agronómicas o en su composición química), entonces se opta por una evaluación de seguridad más estricta, que requiere la determinación del efecto de la ingestión de los compuestos químicos responsables de dicha diferencia en animales de experimentación. Normalmente el tipo de pruebas que se llevan a cabo no incluyen la ingestión del total del OGM, sino las proteínas que han sido expresadas *de novo* producidas por la modificación genética y que se alimentan a animales de laboratorio (Universidad Nacional Autónoma de México, 2000).

El uso de la equivalencia sustancial, de acuerdo con algunos sectores del debate mundial sobre transgénicos, presenta algunas ventajas tales como: el organismo convencional y su historia de consumo definen el estándar que cubre con un nivel de seguridad aceptable, la diferencia entre el OGM y su contraparte convencional es predecible, y las pruebas con animales se restringen a aquellas situaciones donde existe un valor de riesgo real. Por otro lado, es absolutamente cierto para todas las pruebas de seguridad que dicho enfoque no garantiza en términos absolutos la inocuidad total del consumo. Sin embargo, otra parte del debate presenta críticas a este concepto de equivalencia sustancial (Millstone *et al.*, 1999). Millstone basa su desacuerdo con el concepto de equivalencia sustancial, en que éstas estudian sólo los aspectos químicos, y se excluyen algunos aspectos biológicos, para los cuales, según el autor, se requieren pruebas de laboratorio.

Otro hecho que se suma al debate es que la industria aceptó muy rápidamente el cultivo de variedades manipuladas genéticamente con propósitos agronómicos, sin dar suficiente valor a la opinión del consumidor. Por lo tanto las legislaciones de muchos países todavía no han cubierto los aspectos relacionados con los alimentos MG en sus reglamentos, lo cual agudiza el debate actual. Esto puede complicarse debido a que no es posible considerar a este tipo de productos como sustancias tóxicas, o como aditivos que tienen una composición química definida y que pueden ser administrados en sobredosis a animales de laboratorio para vigilar sus efectos a mediano y a largo plazo. Se aduce que se trata por ejemplo de plantas transgénicas que por su manipulación genética podrían responder de una manera distinta a la esperada, bajo ciertas condiciones de estrés o alguna condición extrema durante su ciclo de vida y que esta fuera la razón para que se expresara un gen que a la vez produjera alguna proteína con potencial alergénico. Consideran que no hay protocolos de investigación, adecuados para probar este tipo de productos, o para predecir los efectos bioquímicos o toxicológicos a partir de su composición química. Es importante mencionar que los que deben ser punto de preocupación en mayor medida, son los alimentos transgénicos de la segunda y tercera generación, en el caso de que se generalice el mercado de tal manera que se inunde de productos MG y que las reglamentaciones se hagan muy laxas, lo que posiblemente permitiera la autorización rápida de productos que no han sido bien vigilados en sus efectos a mediano y largo plazo (Universidad Nacional Autónoma de México, 2000). Se requiere que el público en general conozca más los estudios que se hacen en busca de posibles secuencias codificadoras de alérgenos o tóxicos.

Otro aspecto que, según la percepción pública, podría dificultar el análisis de equivalencia substancial, puede deberse a que muchos alimentos, producto de la manipulación genética, no tienen un equivalente convencional que califique para fines de comparación. Los actualmente comercializados cuentan con su contraparte convencional. Otra inquietud es que las pruebas analíticas y las bases de datos existentes sobre tóxicos y nutrientes naturales que están presentes en los alimentos convencionales no son adecuadas para evaluar los cambios secundarios y no

intencionados procedentes de los alimentos producto de la manipulación genética. El temor es que la manipulación genética podría tener efectos sobre los genes que codifican para las toxinas, alérgenos y nutrientes presentes en los alimentos (Sempau, 2001). Esto sugiere la necesidad de llevar a cabo una evaluación más extensa con el fin de establecer la inocuidad del mismo. Dicho análisis puede involucrar el uso de animales que ingieran al OMG durante distintos períodos de tiempo y en diferentes cantidades. Asimismo, se han sugerido análisis de tiempo prolongado para compuestos producidos a través de la manipulación genética, y en general, para cualquier alimento MG, cuando la inocuidad de la contraparte convencional no haya sido establecida por una larga historia de consumo seguro. Por lo anterior la inocuidad del OMG es equivalente a la de su contraparte convencional siempre y cuando se consideren las diferencias entre ambos (Universidad Nacional Autónoma de México, 2000).

Entre el período comprendido entre enero de 1980 y mayo de 2000, investigadores del laboratorio de Toxicología y Salud Medioambiental de medicina de la Universidad “Rovira i Virgili”, Tarragona, realizaron una revisión bibliográfica con el fin de conocer cual es el estado actual sobre los efectos potenciales de los OMG sobre la salud. Los investigadores recurrieron a las bases de datos de Medline y Toxline, así como una serie de direcciones de internet. En este estudio se concluyó que aunque son numerosos los comentarios, noticias generales y cartas a los editores de reconocidas revistas científicas, los artículos referentes a estudios experimentales sobre la seguridad de los alimentos MG, son muy escasos. Si se han obtenido resultados procedentes de la evaluación toxicológica de estos alimentos, no han sido publicados en revistas científicas y por lo tanto, no han podido ser debidamente juzgados o contrastados (Domingo & Gómez, 2000).

5.5. Impactos socioeconómicos

Los impactos socioeconómicos generados por la introducción de OMG de uso agrícola deben abordarse desde tres aspectos: producción, consumo y la sociedad en general. Desde el enfoque producción, se evalúan principalmente los posibles

impactos sobre el productor, utilizando indicadores de la relación costo-beneficio tales como productividad, costos de producción directos e indirectos, tiempos de producción y precios de mercado entre otros; así como los posibles impactos sobre otros participantes en el proceso tales como los involucrados en el mercado de insumos (desplazamiento del mercado, variación en ingresos, constitución del mercado), en los medios de producción (utilización de la tierra, mano de obra) y efectos en la población de la región. Desde el enfoque consumo, se evalúan posibles impactos sobre consumidores, intermediarios, procesadores y comercializadores, uno de cuyos principales indicadores es la diferenciación en costos y calidad del producto. Para el nivel sociedad en general, se evalúa, complementario a las consideraciones anteriores, la distribución del ingreso, efectos en la seguridad alimentaria, la salud, la competitividad y la inserción a nuevos mercados. Este último debe evaluar y tener en cuenta el mercado internacional al cual está dirigido el producto derivado del cultivo OMG, teniendo en cuenta que en los países receptores los productos biotecnológicos sean bien recibidos (Rodríguez, 2001).

Los impactos socioeconómicos que se refieren a la pérdida de competitividad de las variedades locales en los mercados, pueden estar relacionados con dos aspectos. El primero, debido a que en algunas ocasiones el rendimiento de los cultivos basados en sistemas de producción de variedades convencionales, es menor que el rendimiento de los sistemas de producción que incluyen cultivos MG. En otras ocasiones puede presentarse el caso contrario. Se encuentra variabilidad en los resultados obtenidos, de acuerdo con la situación y las condiciones específicas bajo las cuales se lleve a cabo el estudio (grado de infestación, requerimiento del tipo de tecnología, precios, condiciones del medio ambiente) y al tiempo de realización del mismo; adicionalmente varía la distribución de los beneficios por la utilización de las nuevas tecnologías (distribución de los ingresos por pago a los factores utilizados: tierra, trabajo y tecnología, y beneficios a la sociedad); por último, está el análisis de costos por segregación del producto (Rodríguez, 2001).

Como elementos sugeridos para la Evaluación de Impacto Socioeconómico del uso de OVM en Colombia, enmarcada en el Protocolo de Bioseguridad, se deben

incluir el contexto del país y de la subregión, con relación al ambiente físico, económico, social y cultural; las condiciones del sector agrícola en el contexto dado, tales como usos de la tierra, sistemas productivos, requerimientos tecnológicos, entre otros, así como las características de las relaciones productivas, económicas y sociales. Adicionalmente, se debe analizar la pertinencia para el país, las alternativas tecnológicas, las capacidades de transferencia tecnológica y la capacidad de acceso económico al producto (Rodríguez, 2001).

En el momento de adoptar cultivos transgénicos en Colombia, se recomienda el desarrollo de sistemas de producción alternativos que se perciben frecuentemente como opuestos a la biotecnología: la experiencia internacional muestra que todas estas opciones son factibles y complementarias y atienden nichos específicos del mercado y pueden representar excelentes oportunidades comerciales para nuestros países (COLCIENCIAS-OEA-CAMBIOTEC-TECNOS-ICA, 2002). Un complemento entre sistemas tradicionales y de biotecnología moderna puede representar una opción alternativa más conveniente ecológica y socioeconómica, es decir los productos de la biotecnología moderna, bien seleccionados, en los ambientes adecuados, pueden ser compatibles con la producción agropecuaria sostenible.

Se habla de que puede existir un riesgo adicional debido a la no adopción de la tecnología transgénica. Aunque los cultivos transgénicos son desarrollados, casi exclusivamente, por el sector privado y por los países industrializados, quienes presentan la mayor área sembrada con cultivos MG, es importante destacar que países como China han jugado un papel importante debido a que fue uno de los primeros en introducir, para fines comerciales, este tipo de cultivos, a inicios de la década de los noventa. Igualmente Argentina ha adoptado con gran rapidez este tipo de cultivos, los cuales se han expandido a México y a Sur África. Para algunos sectores, el desarrollo de cultivos MG a largo plazo, en países en desarrollo, tiene una importancia evidente y el hecho de renunciar a esta tecnología implicaría entonces grandes riesgos. Existen tres consideraciones de importancia estratégica de los cultivos MG en países en desarrollo. La primera consideración se refiere a que los países en desarrollo tienen más área para expandir este tipo de cultivos. En segundo

lugar, la producción y los rendimientos de los cultivos en países en desarrollo son en general mucho más bajos que en los países industrializados, lo cual puede ser debido a muchas razones, pero principalmente a que los cultivos en estos países se ven afectados por estrés biótico, debido a plagas, malezas y enfermedades. Los cultivos MG ya ofrecen protección para algunos de estos factores. El tercer punto se refiere a que los países en desarrollo necesitan más esta tecnología debido a que su población sufre de malnutrición y estos cultivos MG pueden incrementar la producción de alimentos (James, 1998).

6. El Protocolo de Bioseguridad del Convenio de Diversidad Biológica

El Convenio de Diversidad Biológica realizado en el marco de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, modificó los parámetros tradicionales bajo los cuales se les consideraba a los recursos genéticos como “patrimonio común de la humanidad” y los situó como patrimonio de los estados, asignándoles a éstos el deber y la responsabilidad de su cuidado y preservación. El CDB, considera la necesidad y modalidades de un Protocolo que establezca procedimientos en el campo de la transferencia, manipulación y uso de organismos vivos modificados (OVMs) y sus componentes que puedan tener efectos adversos sobre la biodiversidad.

6.1. Aspectos críticos del Protocolo

En Cartagena, Colombia, entre el 12 y el 23 de Febrero de 1999 se realizó la VI Reunión del Grupo de Trabajo *Ad Hoc* sobre Bioseguridad y la Reunión Extraordinaria de la COP del Convenio de Diversidad Biológica. El objetivo de este evento fue la revisión de la propuesta de un Protocolo de Bioseguridad y su adopción por la Conferencia Extraordinaria de las Partes del CDB. En el transcurso de las negociaciones cada vez fueron predominando las consideraciones de comercio sobre las de seguridad de la biotecnología. De esta manera el texto final llegó con *más de 600 corchetes* y con un *reducido ámbito de aplicación, solo al movimiento transfronterizo de OVM, excluyendo a los productos derivados, y alimenticios, que representan más del 90% de los OMG*. Finalmente, se instaló la primera Conferencia

Extraordinaria de las partes del CDB, en Montreal, en el año 2000 en donde se aprobó el texto final. Este último texto presenta críticas por parte de algunos sectores, pero igualmente reconoce que incluyó aspectos importantes que deben ser tenidos en cuenta.

Un aspecto crítico del Protocolo es el hecho de referirse a los OVM. Esto es una limitante en el ámbito de aplicación debido a que no se está incluyendo los productos derivados y productos que contengan OMG.

Los opositores a los cultivos MG critican el hecho de que en el Protocolo no se define explícitamente la relación entre el comercio (OMC) y el medio ambiente. En el Protocolo dice *“Reconociendo que los acuerdos relativos al comercio y al medio ambiente deben apoyarse mutuamente con miras al desarrollo sostenible”*. Según los opositores, esto no supone que los países dejarán de cumplir con sus obligaciones y derechos bajo los acuerdos multilaterales de la OMC. Sin embargo, en el preámbulo también dice: *“Destacando que el presente Protocolo no podrá interpretarse en el sentido de que modifica los derechos y las obligaciones de una Parte con arreglo a otros acuerdos internacionales ya en vigor”*. Y sigue un párrafo que dice *“los párrafos anteriores (los citados arriba) no tienen por objeto subordinar el presente Protocolo a otros acuerdos internacionales”*. De acuerdo a esta visión, si se produce una disputa comercial debido a estos productos, es decir, que un país prohíba su importación, el caso se estudiará según las normas de la OMC, como es el caso actual de la Unión Europea y Estados Unidos.

Algunos críticos afirman que aunque se incluye el Principio de Precaución y algunos requerimientos de etiquetado de OVM, en la práctica estos aspectos podrían ser difíciles debido a que cualquier restricción al comercio será demandada en la OMC, en donde los países en desarrollo son muy débiles y sus decisiones al respecto pueden ser fácilmente demandadas.

El tema sobre “Commodities” fue un punto crítico en la negociación debido a que el Grupo de Miami buscaba excluir del Protocolo los productos para alimentación humana o alimentos procesados o “commodities”, así como los productos derivados de los OMG. El Grupo de Miami finalmente no aceptó segregar las mercancías MG

de las no MG. Con respecto a este aspecto el texto final del Protocolo, artículo 18, numeral 2.a) dice: *“Organismos vivos modificados destinados a uso directo como alimento humano o animal, o para procesamiento, identifica claramente que “pueden llegar a contener” organismos vivos modificados y que no están destinados para su introducción intencional en el medio, así como un punto de contacto para solicitar información adicional....”*

6.2. Aspectos importantes del Protocolo de Cartagena

Uno de los aspectos más importantes incluidos en el Protocolo es que por primera vez la ley internacional reconoce que los transgénicos son inherentemente diferentes a los productos modificados por métodos convencionales que son comercializados tradicionalmente y que requieren de regulación separada. Para la Unión Europea y otros países, la inclusión del Principio de Precaución fue la mayor victoria, pues los países pueden negarse a la importación de transgénicos en ausencia de suficiente evidencia científica (Álvarez, 2000).

Como se mencionó, Para el caso de Colombia, en mayo de 2003 se expidió la Ley 740 de aprobación del Protocolo de Cartagena, la Corte Constitucional lo declaró exequible en febrero de 2003, lo ratificó oficialmente ante las Naciones Unidas el 20 de mayo de 2003, fecha en la cual había 49 ratificaciones, razón por la cual se espera que entre en vigor antes de finalizar el año.

7. Legislación en Colombia

Dado que el Convenio de Diversidad Biológica, a la vez que establece que se debe formular un Protocolo de Bioseguridad, dispone en sus artículos 6 y 14, respectivamente que cada país elaborará planes sobre conservación y uso sostenible de la biodiversidad y establecerá procedimientos apropiados para exigir la evaluación de impacto ambiental con el fin de reducir o evitar los efectos degradantes sobre la biodiversidad (CDB, 1992), es aconsejable que cada país, entre ellos Colombia, cubra los aspectos que el Protocolo deja por fuera.

En Colombia desde 1998 ya existía alguna legislación referente al tema: la resolución 3492 y el acuerdo 0013 del ICA. La resolución 3492 del ICA, si bien llena algunos vacíos que el Protocolo deja por fuera, también presenta ciertas limitaciones.

- Ya se dijo que unos de los vacíos que presenta el Protocolo es que se refiere a OVM, Organismos Vivos Modificados; la legislación colombiana en su resolución no regula OVM sino, OMG, Organismos Genéticamente Modificados, lo cual da mayor cubrimiento. Sin embargo, la resolución N° 3492 del ICA, sólo se aplica a los OMG de uso agrícola (material reproductivo). Es decir no aplica para más del 90% de los posibles OMG que pueden entrar al país, como en los alimentos, que son competencia del INVIMA. El 23 de octubre de 2001, mediante la resolución 2935 del ICA reglamenta los OMG de uso pecuario.

- Por otra parte, el objetivo del Protocolo, se centra principalmente en los movimientos transfronterizos (preámbulo y objetivo, artículo 1) aunque cubre otros aspectos que no desarrolla. La resolución 3492/98 del ICA complementa el ámbito. Reglamenta y se establece el procedimiento para la introducción, transporte, uso, manejo, producción, liberación y comercialización de OMG de uso agrícola.

- El Protocolo en su artículo 4, dice que aplicará al movimiento transfronterizo, tránsito, manipulación y utilización de todos los OVM que puedan tener efectos adversos para la conservación y la salud. Pero nuevamente la resolución 3492/98 adiciona a la ley material producido por mejoramiento convencional en donde se haya utilizado algún parental OMG. Aunque no se especifican los organismos ni se incluye explícitamente la evaluación de riesgos ambientales, de salud y socioeconómicos a los microorganismos genéticamente modificados de uso agrícola.

- En la legislación colombiana vigente no está explicitado claramente el procedimiento para cumplir con el Acuerdo Fundamentado Previo que hace mención el Protocolo (artículo 7). Esto es, los procedimientos especificados: notificación, acuse de recibo de la notificación, procedimiento de adopción de

decisiones y Revisión de las decisiones. Este aspecto se debe armonizar con los artículos del Protocolo. Los alcances del protocolo son limitados y la norma de bioseguridad colombiana debe incluir otros aspectos que sean de su competencia y que vayan más allá del alcance del Protocolo. Pero la resolución del ICA 3492/98 no regula este procedimiento debido a que éste es un órgano puramente asesor en los aspectos técnicos y no de procedimiento. Sin embargo, cuando entre en vigor el Protocolo, este proceso se debe acelerar con el fin de implementarlo.

- Si bien el Protocolo hace mención a la responsabilidad y compensación (artículo 27) no desarrolla los procedimientos específicos para llevarlos a cabo. En la resolución del ICA 3492, capítulo VII, Artículo 24, inciso *e*, se hace referencia a la Mitigación de daños, pero no se establecen procedimientos específicos que regulen aspectos de responsabilidad y de mitigación de daños causados por la investigación, producción y comercialización de OMG en el país. Solamente se remite a la aplicación del Decreto 1840 de 1994 del Ministerio de Agricultura, por el cual se reglamenta el artículo 65 de la Ley 101 de 1993. Sin embargo, ésta no es una norma específica que hable sobre mitigación de daños causados por OMG específicamente.

- El Protocolo hace mención a la Creación de Capacidad (artículo 22), entendido como el fortalecimiento de los recursos humanos y la capacidad institucional en materia de seguridad de la biotecnología. Este aspecto es muy importante que los países lo desarrollen debido a que es necesario contar con la capacidad técnica con el fin de garantizar que el procedimiento de introducción de un OMG será transparente y sólido científicamente.

Un posible efecto relacionado con la transferencia de genes de un cultivo MG a uno no MG para el caso específico de Colombia, puede compararse con el evento ocurrido con el maíz StarLink (actualmente retirado del mercado) en el año 1999 cuando la EPA lo aprobó en Estados Unidos exclusivamente para consumo animal debido a que la proteína Cry 9C (es la proteína de *B. thuringiensis* que codifica el evento mencionado) podría compartir propiedades moleculares con proteínas que se conoce que son alérgicas (este hecho se estudió

pero no dio resultados positivos). Para el año 2000 se encontró StarLink en diferentes productos de consumo humano. Existen diferentes explicaciones a este hecho, entre las cuales se incluyen (como en el caso anterior), la siembra ilegal de este maíz sin tener en cuenta el registro dividido bajo el cual fue aprobado (ver IV *Resultados y Discusión*, 2.2) y el flujo de genes del cultivo StarLink (de consumo animal) a un cultivo no MG destinado a consumo humano. Sin embargo existen otras posibles explicaciones que cuestionan incluso aspectos relacionados con la idoneidad de la reglamentación gubernamental Estadounidense con respecto a la tecnología transgénica, la capacidad de controlar el flujo de genes, la aceptación de los productos transgénicos por los consumidores en el país y en el exterior y cuestiones vinculadas con la inocuidad de los productos en sí (Colorado State University, 2002d).

En los países industrializados el maíz es el cereal más utilizado como materia prima en la industria animal. En Estados Unidos por ejemplo, el 62% es utilizado como alimento del ganado vacuno y porcino, aves de corral y la piscicultura, un 20% se exporta como alimento de uso animal en el mercado internacional, y sólo entre 1% y 3% de la producción de maíz es destinada al consumo doméstico humano (GRAIN, 1996). Adicionalmente es importante destacar que el maíz que se consume en estos países está presente en productos procesados. En contraste, para Centroamérica, Suramérica y el este y sur de África el maíz constituye un componente fundamental de la seguridad alimentaria. Para el caso de Colombia, debido principalmente a la diferencia de precios entre el maíz para consumo humano y animal a favor del primero, la mayor parte de la producción se destina para el consumo humano directo o a la industria alimentaria (Observatorio Agrocadenas, 2002). De otra parte el maíz de uso humano que se consume en Colombia generalmente no pasa etapas de procesamiento y no es incorporado como componente de otros alimentos, es decir, el maíz pasa de la fase de cultivo al consumidor directamente. Dentro de este contexto, en países como Colombia es preciso evaluar las implicaciones que presenta la transferencia de genes de un cultivo MG, aprobado sólo para consumo

animal, a un cultivo no MG, teniendo en cuenta los aspectos arriba mencionados. Si se presentara en Colombia una situación similar a la del StarLink en Estados Unidos, es necesario tener en cuenta que el maíz constituye el fundamento de la seguridad alimentaria y que este maíz se liberó comercialmente exclusivamente para consumo animal. Igualmente se debe estudiar detalladamente un plan de manejo de riesgos que también sea adaptado al contexto de la realidad del país y que tenga en cuenta las particularidades del mismo. Para la situación actual de Colombia, no parecería haber capacidad técnica para el manejo de registros divididos por tipo de usuario, o para llevar a cabo este tipo de estudios. Sin embargo se está desarrollando el Proyecto GEF (Global Environment Facility), el cual busca fortalecer la legislación en Colombia y sobre todo la capacidad técnica y científica en el país para introducir OMG. Esta es la Propuesta del Plan de Acción Interministerial para la Bioseguridad de los OGM y sus Derivados.

- Se debe tener en cuenta otro aspecto en relación con el caso del maíz StarLink y una adecuada normatividad. Este se refiere a que después de la polémica que se presentó con este maíz, en Estados Unidos se prohibió su uso y su comercialización, pero las exportaciones quedaron abiertas. Colombia es el sexto importador de maíz de Estados Unidos y no existe control o normas específicas de bioseguridad para introducir alimentos MG. En 1999, Greenpeace realizó un análisis genético del maíz que está importando Colombia, proveniente de un barco que desembarcó en el puerto de Santa Marta. Los análisis se realizaron en los laboratorios del departamento de Ecología y Biología Molecular del Ministerio del Medio Ambiente de Austria. Los resultados mostraron que el maíz importado contenía un porcentaje alto de maíz transgénico con el gen de *Bacillus thuringiensis*. Esta situación lleva a pensar que en Colombia se está consumiendo maíz transgénico, sin existir una regulación que controle su entrada y consumo. Este aspecto es competencia de INVIMA, excepto en los casos en los cuales se esté ingresando como semilla, lo cual es competencia directa del ICA.

- En el Protocolo se hace mención a la concienciación y participación del público relativas a la seguridad de la transferencia, manipulación y utilización

de los organismos vivos modificados (artículo 23 a, b, 2, 3). Para el caso de Colombia, el Acuerdo N° 0002 de febrero de 2002, modificó el Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad CTN y estableció que debía estar integrado por: un representante del Ministerio del Medio Ambiente, un representante del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, un representante del Ministerio de Salud, el Subgerente de Protección y Regulación Agrícola del ICA, el coordinador del Grupo de Derechos de Obtentor de Variedades y Producción de Semillas del ICA, un representante de la Universidad Nacional de Colombia, un representante de la Asociación Colombiana de Productores de Semillas (ACOSEMILLAS) que desarrolle actividades con OMG, un representante de la Asociación de Industriales (ANDI) que desarrolle actividades con OMG, un representante de la Asociación Nacional de Usuarios Campesinos (ANUC) y un representante de la Sociedad de Agricultores de Colombia “SAC” (ICA, 2002). Sin embargo Vélez (1999), manifiesta que en el CTN participan predominantemente los sectores biotecnológicos públicos y privados (de 10 miembros del Consejo sólo hay un representante de los pequeños agricultores). Considera que no existe una verdadera representación de todos los sectores de la sociedad civil que de alguna forma se pueden ver afectados por la introducción de OMG, especialmente las comunidades de agricultores locales, los consumidores, y los ciudadanos en general y los órganos de control del Estado.

Con respecto a la concienciación y participación del público es necesario que exista un proceso de transparencia, entendido como el alcance y cubrimiento con que las autoridades gubernamentales suministran la información sobre la regulación de los productos, las evaluaciones de riesgo y la toma de decisiones, así como las conclusiones y decisiones que se toman. La transparencia también incluye la independencia y objetividad que se percibe en el sistema regulatorio y en las autoridades de aplicación (Traynor *et al.*, 2002). En la medida en que se suministre a la comunidad en general información oportuna, completa, objetiva y veraz, acerca de cómo puede afectar la biotecnología (positiva y negativamente), a la población y a su ambiente, se obtienen opiniones adecuadamente informadas.

Una adecuada comunicación y divulgación deben buscar una mejor educación del público acerca de los riesgos y los beneficios, su evaluación y su manejo, así como las acciones que se deben realizar con el fin de minimizar los riesgos en casos específicos. Este proceso debe suministrar los elementos para la toma de decisiones informadas del público, debe considerar lo que a la sociedad le interesa saber, debe incrementar la confianza mutua y la credibilidad, con el fin de reducir los conflictos y las controversias, así como promover la transparencia en los procesos regulatorios (Traynor *et al.*, 2002; Lemaux, 2001).

En consecuencia, se recomienda mantener la participación amplia de los diferentes estamentos de la sociedad en las discusiones y formulación de propuestas, así como divulgar con mayor cobertura a todos los sectores las actividades y procesos que se adelantan en el tema de regulación en bioseguridad. Para una mejor comprensión del tema por parte de los diferentes grupos, es indispensable implementar mecanismos de divulgación y educación de manera tal que les permita tomar posición frente al tema. Para lograr un proceso transparente en este aspecto, es necesario también, fortalecer la capacidad técnica con respecto a los medios de comunicación, de tal forma que sea posible socializar la información en materia de bioseguridad de la manera más eficaz y clara posibles.

- El Protocolo parte del Principio de Precaución que figura en el Principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. La legislación nacional, en la resolución 3492/98 del ICA, Capítulo VI, artículo 22, dice: *“En aplicación del principio de precaución o por razones de bioseguridad cuando el ICA lo estime necesario podrá retirar del mercado materiales ya liberados sin derecho a indemnización”*. Este aspecto es de particular importancia debido a que los posibles efectos de los OMG deben ser estudiados cuidadosamente.

Para concluir se podría decir que en la legislación colombiana vigente, se consideran tanto los posibles beneficios, como los posibles riesgos de la utilización de OVMs (OMGs) de uso agrícola. Es así, como en Resolución ICA 3492 de 1998, se

reconoce que los OMGs representan un gran aporte a la producción de alimentos, insumos agropecuarios y materias primas, pero a su vez pueden constituir una amenaza potencial o real por sus posibles riesgos para la salud humana, animal, vegetal, la producción agropecuaria y la sostenibilidad de los agroecosistemas. Igualmente se incluyen consideraciones socioeconómicas, particularmente en lo referente a los posibles efectos en la producción agropecuaria. En relación con definición de estándares y niveles de riesgo, la Resolución ICA 2935 de 2001, describe los niveles de bioseguridad a ser contemplados, de acuerdo con el tipo de OMG a ser utilizado. La evaluación de riesgo, propiamente dicha, así como la posibilidad de ocurrencia del mismo, se realiza caso por caso, con asesoría científica de especialistas en el tema, mediante un estudio detallado y minucioso de las características del OMG en cuestión, del uso propuesto, del posible ambiente receptor, cumpliendo con los requisitos dispuestos en la normativa nacional. En el proceso de evaluación de riesgo, actualmente no se encuentra explícita la evaluación y cuantificación de posibles beneficios, la cual debe ser parte integral del estudio.

8. Recomendaciones

➤ Es conveniente que en Colombia se elabore una Norma Nacional de Bioseguridad que articule a los diferentes organismos a los cuales les compete estudiar las solicitudes de aprobación de cultivos transgénicos. Sin embargo es recomendable que cada uno de estos organismos cree un CTN sectorial con el fin de estudiar las posibles implicaciones de la introducción de cultivos transgénicos en Colombia, de acuerdo a la competencia de cada uno.

➤ Con el fin de crear CTN de Bioseguridad sectoriales en cada órgano de control, es necesario fortalecer la capacidad técnica institucional. Esto garantiza que las decisiones de aprobación de cultivos transgénicos sean

tomadas con base en conocimientos integrales en la materia, de manera objetiva e independiente.

➤ Hasta la fecha (2003), debido a la insuficiente capacidad técnica y científica existente en Colombia para realizar las evaluaciones sobre transgénicos y estudiar las aprobaciones presentadas por la industria para su introducción, se podría sugerir acogerse al Principio de Precaución hasta tanto no se inicie el proceso de capacitación institucional.

➤ Una vez se establezca que el uso de los OMG es seguro en relación con el medio ambiente y la salud, es necesario realizar evaluaciones cuidadosas sobre los posibles impactos socioeconómicos teniendo en cuenta el contexto social del campo colombiano. Sin embargo, es necesario tener en cuenta las condiciones económicas antes de aprobar la liberación y comercialización de un determinado producto en Colombia. Para el caso del maíz por ejemplo, es necesario preguntarse si Colombia necesita introducir maíz transgénico y hacer el estudio costo-beneficio. Es probable que para el caso de Colombia no sea necesario introducir este tipo de maíz. Esto debe decidirse con base en estudios económicos.

➤ Es conveniente establecer en Colombia un órgano de control y centralización de la información sobre investigación en OMG de uso agrícola, el cual esté encargado de sistematizar ordenadamente los proyectos que se desarrollan en el país relacionados con el tema. Igualmente es recomendable fortalecer la capacidad investigativa del país, mediante una asignación mayor de presupuesto a la investigación de transgénicos de uso agrícola. De esta manera se podría priorizar las líneas de investigación en Colombia con el fin de desarrollar variedades transgénicas de acuerdo a las necesidades del país.

➤ Es necesario que el Estado establezca los medios y los espacios para que exista un debate abierto referente a los OMG, en cual debe primar la información clara, completa y veraz al público. Para que este proceso sea exitoso es recomendable fortalecer la capacidad técnica al nivel de los medios de comunicación.

➤ Es importante contar con sistemas regulatorios eficaces, que tengan en cuenta las condiciones específicas de Colombia, con el fin de prevenir los posibles efectos de los OMG sobre el medio ambiente y la salud. Los sistemas regulatorios demasiado estrictos pueden ser una medida efectiva desde el punto de vista que incluyen todos los aspectos relacionados con el uso, liberación y comercialización de OMG. Sin embargo, esto podría generar también infracciones a la ley que deriven en efectos ambientales, socioeconómicos o sobre la salud mucho más perjudiciales y sin capacidad de control. Por lo tanto se considera fundamental hacer monitoreos en las zonas donde se decida liberar comercialmente semillas transgénicas, y en las zonas vecinas a éstas.

➤ Es conveniente fortalecer los estudios moleculares con el fin de utilizar promotores de expresión específicos en el tejido donde se quiere que se exprese el polen para evitar posibles efectos como el que surgió con el maíz Bt 176 y la mariposa Monarca. Sin embargo, cada avance en las técnicas debe ser debidamente evaluado para su aprobación dentro de las normas de bioseguridad que se deben seguir para la investigación.

➤ Los productos transgénicos exportados por otros países hacia Colombia, como en el caso del maíz, deben estar procesados de tal forma que permita asegurarse que no van a germinar o que no van a ser utilizados para siembra. Debe fortalecerse también la normatividad que regula para alimentos MG.

➤ Después de estudiar caso por caso y paso por paso, la introducción de determinado cultivo en Colombia, por ejemplo maíz, es conveniente estudiar la posibilidad de establecer mecanismos de conservación de la variedades locales de maíz como una estrategia paralela a los dichos cultivos MG. Estas estrategias deben ser bastante eficaces de tal manera que se garantice la conservación y mantenimiento de estas razas y variedades locales.

9. Referencias

- AgBios Agriculture & Biotechnology Strategies, Inc, 2002. Essential Biosafety™. CD-ROOM 2nd Edition.
- Agrogenética Colombiana Ltda, 1996. Evaluación de la capacidad insecticida y el comportamiento agronómico de las variedades transgénicas de algodón Deltapine, DPX-859 y DPX-973, portadoras del gen Bollgard. Centro experimental Las Glorias, El Espinal, Tolima, 28 de octubre de 1996.
- Altieri M, 2002. Riesgos ambientales de los cultivos transgénicos: una evaluación agroecológica. <http://ww2.grn.es/avalls/riesgos.htm>
- Álvarez P., Gutiérrez S. 2000. PROTOCOLO DE BIOSEGURIDAD: Un repaso de su proceso histórico. Trabajo presentado en la Universidad Nacional de San Martín, Escuela de Postgrado, Maestría en Gestión Ambiental, Materia: Derecho Ambiental Internacional. <http://www.biodiversidadla.org/documentos63.htm>
- Asociación de semilleros Argentinos, 2003. Alimentos Genéticamente Modificados (GM). http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/alimentosGM/alimGB_segur.asp
- Aramendis R. & Hodson de Jaramillo E. 1999. La Bioseguridad: Un nuevo escenario de confrontación internacional entre consideraciones comerciales, medioambientales y socioeconómicas. En: Bioseguridad. Aramendis R. (Ed.) Programa Nacional de Biotecnología. Colciencias. Tercer Mundo Editores S.A., Bogotá, Colombia. pp. 67-86
- Barceló, P & Cabrera, A. 2001. La mejora genética del trigo. Investigación y Ciencia. 292: 75-83.
- Barling, D, 1999. ¿la biodiversidad amenazada por los OMG?. Dirección General de Sanidad y Protección de los Consumidores. Consumer Voice N°4. http://europa.eu.int/comm/dgs/health_consumer/library/pub/cv/cv994/cv994-02_es.html
- Benbrook C, 2001. Troubled times amid commercial success for Roundup Ready Soybeans. Glyphosate efficacy is slipping and unstable transgene. Expression erodes plant defenses and yields. Northwest science and Environmental Policy Center Sandpoint Idaho. AgBioTechInfoNet. Technical Paper Number 4, may 3, 2001. www.biotech-info.net/troubledtimesfinal-exsum.pdf

- Brammer, B, 2001. Miller: Aventis signs formal agreement to mitigate losses from StarLink Corn. Binding contract details measures to compensate growers and elevators.
http://www.state.ia.us/government/ag/StarLink_binding_agt_rel.htm
- Chaparro, A., Caro, M., Peñaranda, J., Acosta, O., 1995. Establecimiento de una metodología no convencional de mejoramiento de tabaco mediante transformación con *Agrobacterium tumefaciens*. Memorias del IV Congreso de la Sociedad Colombiana de fitomejoramiento y producción de Cultivos. Chinchina: Veyco Litografía. pp.134 – 134.
- COLCIENCIAS-OEA-CAMBIOTEC-TECNOS-ICA, 2002. Recomendaciones Seminario-Taller Bioseguridad de organismos modificados genéticamente de interés agropecuario: Evaluación y manejo de riesgo. Proyecto OEA-COLCIENCIAS “Regulaciones de bioseguridad en América Latina y el Caribe en el marco del Protocolo Internacional e Bioseguridad”. Octubre 2002.
- Colorado State University, 2002a. La mariposa monarca y el maíz Bt.
http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/sp_hotmonarch.html
- Colorado State University, 2002b. Productos transgénicos cuya producción ha sido suspendida.
http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/sp_defunct.html
- Colorado State University, 2002c. Qué son las plantas transgénicas?
http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/sp_what.html
- Colorado State University, 2002d. Riesgos y preocupaciones.
http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/sp_risks.html
- Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria, 2002. Programa de manejo de resistencia a insectos.
http://www.sagpya.mecon.gov.ar/12/programa_manejo_resistencia_insectos.htm
- Consumers International, 2000. Alianzas y agendas, los consumidores y los ciudadanos se rebelan.
http://www.consumidoresint.cl/publicaciones/dm2000/dm2000_5.asp
- Convention on Biological Diversity, 1992.
<http://www.biodiv.org/convention/articles.asp>

- Convenio de Diversidad Biológica, 2002. Cartagena Protocol on Biosafety Signatures and Ratifications. www.biodiv.org/biosafety/signinglist.asp?order=date
- Conner, A, Glare, T & Nap, P. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. The Plant Journal. 33:19-46.
- Daniell, H, 2002. Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. University of Central Florida, Department of Molecular Biology and Microbiology. Environmental impact of GM crops. Vol. 20 Number 6 pp 581-586.
- Departamento Confederal de Medio Ambiente de CC.OO. Área de Medio Ambiente de la Fundación 1º de mayo, 1999. (Ed.). Argumentos recombinantes sobre cultivos y alimentos transgénicos. Madrid, España. pp 44 - 48
- Domingo, J, & Gómez M, 2000. Riesgos sobre la salud de los alimentos modificados genéticamente: una revisión bibliográfica. Laboratorio de Toxicología y Salud Medioambiental. Facultad de Medicina. Universidad “Rovira i Virgili”. <http://www.msc.es/salud/epidemiologia/resp/200003/riesgos.htm>
- DuPont, 2002. Resumen científico y perspectiva de DuPont. http://www.dupont.com/biotech/espanol/science_knowledge/food_allergy/topic_summary.html
- EPA, 2000a. Environmental assesment. In: Bt plant - pesticides Biopesticides Registration Action Document http://www.epa.gov/oscpmont/sap/2000/october/brad3_enviroassessment.pdf
- EPA, 2000b. FIFRA Scientific Advisory Panel (SAP) Appointment of Three New Members to the FIFRA SAP. <http://www.epa.gov/scipoly/sap> o <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/monarca.htm>
- FAO, 2000. Primera reunión del grupo de acción de la comisión del CODEX Alimentarius para elaborar normas y directrices de los alimentos derivados de la biotecnología. Comunicados de prensa de la FAO. http://www.fao.org/WAICENT/OIS/PRESS_NE/PRESSSPA/2000/prsp0016.htm
- FAO, 2003. Glossary of Biotechnology for Food and Agriculture <http://www.fao.org/biotech/find-formalpha-n.asp>
- FAO, 2003a. Agricultural biotechnology: will it help? <http://www.fao.org/english/newsroom/focus/2003/gmol.htm>

- FDA (US Food and Drug Administration), 1998. Guidance for industry: use of antibiotic resistance market genes in transgenic plants. FDA/CFSAN. Website [www.http://vm.cfsan.fda.gov/-dms/opa-armg.html](http://vm.cfsan.fda.gov/-dms/opa-armg.html)
- Florigene, 2002. Company profile. <http://www.florigene.com.au/web/florigenecomau/florigenecomauhp.nsf/web/index.html>
- Food First/Institute for Food and Development Policy, 2002. Joint Statement on the Mexican GM Maize Scandal. <http://www.foodfirst.org/progs/global/ge/jointstatement2002.html>
- Galun, E., & Breiman, A., 1998. Transgenic Plants. Imperial College Press, London, UK 376p.
- García-Arenal, F, Malpica, J, M, & Fraile A, 2000. The role of genetic exchange. En: Potential Risk Associated with Virus – resistant transgenic plants. Proceedings of the 6th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms. C. Fairbair, G. Scoles y A. McHughen (Eds.) University Extension Press, Saskatoon, Canadá. pp 97 – 104.
- Graff, G, D, & Newcomb, J, 2003. Agricultural Biotechnology at the crossroads. Part I: The changing structure of the industry. Bioera (Bioeconomic Research Associates). 14 p.
- GRAIN/RAFI, 1996. La cosecha dorada. Revista Biodiversidad 9/10: 21-28.
- Grant, E., I., 2002. El Esquema de Evaluación de Riesgos. En: Agricultural Biotechnology and Transatlantic Trade: Regulatory Barriers to GM Crops. CAB International Publishers, Oxon, Reino Unido. <http://www.commerce.usask.ca/faculty/isaacPubs.html>
- Greenpeace. 2000. Centros de diversidad. La riqueza biológica de los cultivos tradicionales, herencia mundial amenazada por la contaminación genética. Ciudad de México. <http://www.ciepac.org/biodiversity/centrosdiversidad.pdf>
- Grierson, D., & Covey, S.,N., 1991. Biología Molecular de las Plantas. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 224p
- Grupo de Trabajo Intersectorial, 2002. Documento de trabajo, Taller proyecto GEF, Villa de Leiva, julio de 2002.

- Hansen, L.C., & Obrycki, J., 2000. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*, Published online: August 19, 2000.
- Hellmich, R.L., Siegfried, B.D., Sears, M.K., Stanley-Horn, D.E., Daniels, M.J., Mattila, H.R., Spencer, T., Bidne, K.G., Lewis, L.C. 2001. Monarca larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis* purified proteins and pollen. Proceedings of the National Academy Science (PNAS).
- Henry, R.J., 2000. Practical applications of plant molecular biology. Chapman & Hall, London, UK. 258 p.
- Hodson de J.,E., 1999. Agrobacterium-mediated transformation of *Pasiflora edulis* for potyvirus resistance. Thesis submitted to the University of Nottingham, for the degree of Doctor of Philosophy, June, 1999. The University of Nottingham. 162p.
- ILSI, Internacional Life Science Institute, 2000. Biotecnología de los alimentos Introducción. ILSI Press. Washington, Estados Unidos. 35-41p
- Instituto Humboldt. 1999. Biosíntesis Boletín informativo No. 13 <http://www.humboldt.org.co/download/bol13.pdf>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 1998. Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad. Chávez M. y Arango N. (Eds.) Santafé de Bogotá, Instituto Humboldt PNUMA. Ministerio de Medio Ambiente, Colombia, 1998. Vol. 3, 157 p
- Instituto Colombiano Agropecuario, 1997. Evaluación del control genético de líneas transgénicas del algodón sobre larvas de insectos del orden Lepidóptera.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA 1998. **Resolución 03492**. Por la cual se reglamenta y se establece el procedimiento para la introducción, producción, liberación y comercialización de OGM y se dictan otras disposiciones. Bogotá, dic 22 de 1998.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 1998. Por el cual **se crea** el Consejo Técnico Nacional (**CTN**) para la introducción, producción, liberación y comercialización de OGM de uso agrícola. Bogotá, diciembre de 1998.
- Instituto Colombiano Agropecuario División de Semillas, 1999. Evaluación de los riesgos potenciales para introducir, investigar, producir y comercializar plantas de **clavel** modificada genéticamente.

- Instituto Colombiano Agropecuario, 2000. **Resolución 01219**, 18 de mayo de 2000. Por la cual se autoriza la introducción de plantas de clavel modificado genéticamente.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA 2001. **Resolución 02935**. Por la cual se reglamenta y se establece el procedimiento de Bioseguridad, para la producción, liberación y comercialización, investigación de OGM de interés en salud y producción pecuaria. Bogotá, octubre 23 de 2001.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2002. Por el cual **se modifica** el Consejo Técnico Nacional (**CTN**) para introducción, producción, liberación y comercialización de Organismos Modificados Genéticamente (OMG) de uso agrícola, creado por el Acuerdo 0013 del 22 de diciembre de 1998.
- Instituto Colombiano Agropecuario, Subgerencia de Protección y regulación agrícola, 2002. Estimación de la distancia a la cual el polen del algodónero (*Gossypium hirsutum L.*) es transportado por polinizadores. Bogotá, D.C., Colombia 15 de marzo de 2002.
- Instituto Colombiano Agropecuario, Subgerencia de Protección y Regulación Agrícola, 2002. Evaluación del efecto de la tecnología Bollgard sobre poblaciones de artrópodos y anélidos en el algodónero (*Gossypium hirsutum L.*). Bogotá D.C., Colombia 15 de marzo de 2002.
- Instituto Colombiano Agropecuario, 2002. **Resolución 1035**, 10 de mayo de 2002. Por la cual se autoriza la importación de semilla para la siembra de ensayos semicomerciales, de la variedad de algodón Nucotn 33B con la tecnología Bollgard.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. 2002. Consejo Técnico Nacional (CTN) para introducción, producción, liberación y comercialización de organismos genéticamente modificados. **Acta 013**.
- Isaac, G, 2002. Agricultural biotechnology and trasatlantic trade: regulatory barriers to GM Crops. CAB International Publisers, Oxon, Reino Unido. <http://www.commerce.usask.ca/faculty/isaacPubs.html>
- James, C. 1998. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs No 8. ISAAA: Ithaca, NY.
- James, C 2002 Preview: Global status of Commercialized Transgenic Crops: 2002 ISAAA Briefs N° 27 ISAAA: Ithaca, NY.

- Lemaux, P.G. 2001. Nudging mother nature: the promise and reality of AgBiotech for farmers. <http://ucbiotech.org/resources/biotech/talks/>
- Losey, J.,E., Rayor, L.,S., & Carter, M.,E., 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature 399:214-216.
- Mater D. & Truffaut N. 2002 la ingeniería genética. Mundo científico. 225: 78-81
- Milenio, 2002. La contaminación con transgénicos en México es generalizada. http://www.agroenlinea.com/agro/portlets/noticiafull/noticiafull.jsp?ID_NOTICIA=4964
- Millstone, E., Brunner, E., & Mayer, S., 1999. Beyond Substantial Equivalence, Nature 401: 525-526.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2003. Noticias Bogotá, Enero 16 de 2003 15 iniciativas de profundo impacto social. http://www.minagricultura.gov.co/noticias_impacto.htm
- Ministerio del Medio Ambiente, 2002. **Concepto Técnico** Estudio de la solicitud de introducción, producción y comercialización en Colombia de la variedad de algodón genéticamente modificada, Nucofn 33B.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2002. Proyecto de Marco Normativo Nacional en Materia de Bioseguridad con Respecto a Organismos Genéticamente Modificados.
- Monsanto, 2000. Maíz Bt y la mariposa Monarca. <http://www.monsanto...com.ar/nota.asp?did=17>
- Morriss, M. & López, M, 1997. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. Programa de economía. CIMMYT www.cimmyt.cgiar.org/Research/Economics/map/impact_studies/Impacts%20of%20Maize_1966_1997/ImpactosLA/ImpactosMaiz_66-97.htm
- Nadal A., 2002. Transgénicos a la deriva. México D.F. Miércoles 30 de enero de 2002. <http://www.jornada.unam.mx/2002/ene02/020130/026a1eco.php?origen=opinion.html>
- Nap, J, Metz, P, Escaler, M & Conner, A, 2003. The release of genetically modified crops into the environmet. Part I. Overview of current status and regulations. The Plant Journal 33:1-18.

- NCFAP National Center for Food & Agricultural Policy, 2002. Plant Biotechnology: Current and Potential Impact for Improving Pest Management in U.S. Agriculture. An Analysis of 40 case Studies. 16pp.
- Oberhauser, K.S., Prysby, M.D., Mattila, H.R., Stanley-Horn, D.E., Sears, M.K., Dively, G.; Olson, E., Pleasants, J.M., Lam, W.F., Hellmich, R.L. 2001. Temporal and spatial overlap between Monarch larvae and corn pollen. Proceedings of the National Academy Science (PNAS).
- Observatorio Agrocadenas, 2002. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Análisis por producto – Mundo: Cereales, Avicultura y Porcicultura. Maíz. http://www.agrocadenas.gov.co/balanceados/alimentos_analisis_maiz.htm
- Oficina de Programas de Información Internacional del Departamento de Estados Unidos. 15 de junio de 2001. Informe CDC sobre maíz StarLink genéticamente Modificado. <http://usinfo.state.gov/espanol/>.
- Oplinger, E, 1999. Performance of GMO in Northern US. Department of Agronomy, University of Wisconsin - Madison. www.uwex.edu/ces/soybean/slides/1998%20Expo/sld008.htm
- Ortiz, S, 2002. Los Organismos genéticamente modificados y el análisis de riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) NAPPO PRA Symposium Puerto Vallarta – México. <http://www.napp.org/PRA-Symposium/PDF-Final/Ortiz.pdf>
- Pengue, W, 2001. Expansión de la soya en Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: un modelo para armar. <http://www.grain.org/sp/publications/t-pengue-sp.cfm>
- Persley G.J., L.V. Giddingd & C. Juma. 1993. Biosafety: The safe application of biotechnology in agriculture and the environment. Research Report N° 5. The Hague ISNAR.
- Pew initiative on Food and Biotechnology, 2000. Three years latter: Genetically engineered corn and the monarch Butterfly Controversy. <http://pewagbiotech.org/tesources/issuebriefs/monarch.pdf>
- Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología del Convenio de Diversidad Biológica, 2000.
- Quist, D, & Chapela, I., 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, México. Nature 414:541-543.

- Reyes, L., & Luzardo, J., 1992. Estado actual del mejoramiento genético y recomendaciones para la conservación de los recursos genéticos en Colombia. En: Halfter G (Comp.) 1992. La Diversidad Biológica de Iberoamérica I. Volumen especial, Capítulo Colombia. Acta zoológica mexicana, Nueva serie. Instituto de Ecología, AC, Xalapa, México. <http://www.ecologia.edu.mx/pubs/biodiv/bdcolgen.htm>
- Ribeiro, S, 2002. Problemas en el paraíso. EcoPortal.net. <http://www.ecoportal.net/noti02/n465.htm>
- Riechman J, 2002. Qué son los alimentos transgénicos? Primera edición. Impreso por Romanyá/Valls. Barcelona, España. 31-51p
- Rodríguez, C., J., 2001. Evaluación de Impacto Socioeconómico de la Biotecnología en el Sector Agrícola. En: Informe Proyecto OEA-COLCIENCIAS “Regulaciones de bioseguridad en América Latina y el Caribe en el marco del Protocolo Internacional de Bioseguridad”. Agosto, 2002.
- Rulli, 2002. La biotecnología y el modelo rural en los orígenes de la catástrofe que sufre Argentina. Seminario de UITA, Buenos Aires. <http://www.ecoportal.com.ar/articulos/rural.htm>
- Sarria, R. Calderón, A., Thro, A. Torres, E., Mayer, J., Roca, W., 1994. *Agrobacterium* mediated transformation of *Stylosanthes quianensis* and production of transgenic plants. Plant Science 96: 119-127.
- Sempau, D., 2001. Resúmenes de conferencias y mesas de debate 1. La ciencia ante los retos del siglo XXI. <http://216.239.39.100/search?q=cache:ufRjgXihcFAJ:www.agroecologia.net/congresos/cordoba/resconf.pdf+equivalencia+substantial&hl=es&ie=UTF-8>
- Stanley Rice, 2000. Paul Berg: 1926 – Present http://www.accessexcellence.org/AB/BC/Paul_Berg.html
- StarLink Information Center, 2001. StarLink History. <http://www.starlinkcorn.com/History/What%20is%20StarLink%20corn.htm>
- Syngenta Seeds, 2002. Cinco medidas concretas para la aplicación de refugios en el maíz Bt. <http://www.syngentaseeds.es/biotecnologia/medidasconcretas.htm#>
- Traynor P.L., Frederick R. & Koch M. 2002. Biosafety and Risk Assessment in Agricultural Biotechnology (A Workbook for Technical Training). The

Agricultural Biotechnology Support Project, Institute of International Agriculture, Michigan State University, USA. 142 p.

- UM CAFNR News (University of Missouri College of Agriculture, Food and Natural Resources), 2003. MU researches study pollen rejection as potential control for GM crop gene flow. http://agebb.missouri.edu/news/cafnr/showcur.asp?story_num=2299&iln=40
- Union of Concerned Scientists, 1998. Recommendations for Developing and Implementing Resistance Management Plants for Bt-Toxin-Producing Crops. En: Now or Never: serious New Plants to Save a Natural Pest Control. Mellon M, & Rissler, J, (Eds.). 65-105p
- Universidad Nacional Autónoma de México, 2000. Tendencias internacionales en torno al posible contenido de la etiqueta de un producto transgénico. En: FORO VIRTUAL SIMBIOSIS "Etiquetado de Alimentos Transgénicos". Departamento de Alimentos y Biotecnología Facultad de Química. <http://www.simbiosis.unam.mx/transgenicos/capitulos/cap4.html>
- Universidad Nacional de Colombia Departamento de Biología, Instituto de Genética & Corpoica, 2002. Taller internacional de ingeniería genética para la agricultura colombiana. Bogotá D.C, septiembre 2002. Memorias.
- Wager, R, 2002. EJB Electronic Journal of Biotechnology. Moving from science to development (Letter received on wednesday 14 august, 2002). <http://www.ejb.org/content/vol5/issue2/letters/01/index.html>
- Vélez, 1999. Colombia se inicia en la revolución genética. Revista Semillas 13: 2-7.