



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**“ESTUDIO MULTIDISCIPLINARIO SOBRE EL IMPACTO Y REGULACION DE
LOS ALIMENTOS TRANSGENICOS EN MEXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

MARIA DEL ROCIO FERNANDEZ SUAREZ

ASESOR : DRA. MARIA ANDREA TREJO MARQUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicarle que revisamos la TESIS:

"Estudio multidisciplinario sobre el impacto y regulación de los alimentos transgénicos en México"

que presenta la pasante: María del Rocío Fernández Suárez
con número de cuenta: 099552729 para obtener el título de
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 7 de mayo de 2004

PRESIDENTE Dr. Francisco Montiel Sosa

VOCAL MC. Susana Patricia Miranda Castro

SECRETARIO Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez

PRIMER SUPLENTE LIC. Jorge Bello Domínguez

SEGUNDO SUPLENTE IA. María Guadalupe López Franco

Agradecimientos

Agradezco de manera muy especial a la Dra. María Andrea Trejo Márquez por el apoyo incondicional en la elaboración de la presente tesis y por sus útiles consejos y enseñanzas. A quien admiro no sólo por su trayectoria profesional sino por su calidad como ser humano, quien me ha motivado a hacer cosas importantes para mi futuro y a ser una mejor persona.

Agradezco a los especialistas entrevistados por su cooperación en el presente trabajo así como a los compañeros de Ingeniería en Alimentos que participaron en la estancia de investigación dentro de la cátedra de Tecnología de Productos Vegetales; esta tesis no hubiera visto la luz sin su entusiasta apoyo.

Agradezco a mis compañeros del Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales por todo el apoyo brindado.

Agradezco a los profesores de la FES Cuautitlán por su contribución en mi formación profesional y en mi formación como ser humano.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, máxima casa de estudios del país, la invaluable oportunidad de haberme formado profesionalmente en sus aulas; la Universidad es como su nombre lo dice, un universo de pensamientos que aprenden a convivir, no a sucumbir, unos con otros.

"Nuestra alma no envejece; está siempre en estado de crecimiento; en relación a la verdad, nunca sale del estado de infancia... Esté, en consecuencia, el estudioso atento para percibir los ecos de la verdad.

... Bossuet ha dicho: 'El espíritu del hombre puede descubrir hasta lo infinito, y sólo su pereza coloca vallas a su sabiduría y sus invenciones'... Saber, buscar, saber de nuevo y volver a partir para seguir buscando, esa es la vida del hombre consagrado a lo verdadero... Lo infinito que está ante nosotros exige la infinidad de nuestro anhelo de evitar en lo posible el debilitamiento de nuestras fuerzas" (SERTILLANGES, La vida intelectual).

Dedicatorias

Este trabajo lo dedico a quienes les debo tiempo, paz, amor, comprensión y pan, ingredientes sin los cuales la reflexión y la inspiración no fructifican:

A mis padres que quiero mucho, Eloisa Suárez y Victor Fernández, que siempre me brindaron y me brindan su apoyo incondicional, quienes me enseñaron los valores más importantes en mi vida, el amor, el respeto y la verdad.

A mi familia y amigos que siempre han compartido conmigo los momentos más importantes en mi vida, a mi muy querida hermana Gaby, a mis tías Silvia y Sonia que siempre me han apoyado incondicionalmente, a mi querido Eduardo y a mi mejor amiga Diana.

Tlachianemih in tlaçah,
tlaçiah huehcauh ompa canin in ilhuicatl
ihuan in tlalli monamiquih.
Moztlayo nozo yalhuayo zan
tetzahcahuitl.

Tlaxelihui, texelihui:
Quihuecatia in ixtelolo yolloc,
quixelihui tlahuilli ihuan yohualli,
tonatiuh ihuan meztli,
techihtitia ome tlamantin
canin onca zan ce yoliztli.

Los hombres viven observando,
allá a lo lejos donde el cielo y la tierra se
juntan.
El mañana y el ayer son espejismos del
tiempo.

Dividen las cosas, dividen las personas:
Aleja los ojos del corazón,
divide la luz y la noche,
el sol y la luna,
nos hace ver dos cosas
donde solo hay una vida.



ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE GENERAL..... | i |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | v |
| ABREVIATURAS..... | vii |
| RESUMEN..... | x |
| I) INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II) OBJETIVOS..... | 4 |
| III) METODOLOGÍA..... | 6 |
| 1) Revisión Bibliográfica..... | 7 |
| 2) Trabajo de Campo..... | 7 |
| IV) REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
| 1) Biotecnología..... | 19 |
| 1.1 ¿Qué es la Biotecnología?..... | 19 |
| 1.2 Historia de la Biotecnología..... | 20 |
| 1.3 La Biotecnología Moderna..... | 23 |
| 2) Ingeniería Genética y DNA recombinante..... | 25 |
| 2.1 DNA recombinante y clonación..... | 25 |
| 2.4 Obtención de organismos transgénicos para la alimentación..... | 39 |
| 3) Alimentos transgénicos: Aplicación de organismos transgénicos en la alimentación..... | 49 |
| 3.1 Microorganismos transgénicos..... | 51 |
| 3.2 Plantas transgénicas..... | 54 |
| 3.3 Animales transgénicos..... | 66 |



| | |
|---|-----|
| 4) Alimentos transgénicos disponibles actualmente en el mundo..... | 68 |
| 4.1 Cultivos, características y superficie cultivada..... | 69 |
| 4.2 Situación mundial de los cultivos transgénicos aprobados..... | 79 |
| 4.3 Cultivos transgénicos suspendidos..... | 79 |
| 4.4 Los principales productores..... | 82 |
| 4.5 Los alimentos transgénicos y la industria alimentaria..... | 84 |
| 5) Alimentos transgénicos disponibles actualmente en México..... | 85 |
| 5.1 Siembra de cultivos transgénicos..... | 85 |
| 5.2 El consumo de alimentos transgénicos en México..... | 91 |
| 6) Presencia de transgenes en cultivos criollos de maíz en México..... | 98 |
| 6.1 México, centro de origen y diversidad genética del maíz..... | 98 |
| 6.2 Evidencias de la presencia de transgenes en maíz criollo..... | 100 |
| 6.3 Posibles causas de la presencia de transgenes en maíz criollo..... | 105 |
| 6.4 Consecuencias de la presencia de transgenes en maíz criollo..... | 106 |
| 7) Riesgos potenciales de los alimentos transgénicos..... | 108 |
| 7.1 Riesgos en la salud humana..... | 109 |
| 7.2 Riesgos en el medio ambiente..... | 118 |
| 7.3 Impactos socioeconómicos..... | 126 |
| 8) El etiquetado y los alimentos transgénicos..... | 132 |
| 8.1 Argumentos a favor y en contra del etiquetado..... | 132 |
| 8.2 La equivalencia sustancial y el etiquetado..... | 134 |
| 8.3 Sistemas de etiquetado..... | 137 |
| 9) Bioseguridad..... | 144 |
| 9.1 El análisis de riesgos..... | 144 |
| 9.2 Organismos y acuerdos internacionales para la regulación de OGMs..... | 146 |
| 10) Bioseguridad en México..... | 153 |



| | |
|--|------------|
| 10.1 Los organismos públicos y la Bioseguridad..... | 153 |
| 10.2 Marco Jurídico..... | 155 |
| 10.3 Reglamentación específica para organismos genéticamente modificados..... | 157 |
| 10.4 Adecuación de México al Protocolo de Cartagena..... | 161 |
| V) TRABAJO DE CAMPO..... | 164 |
| 1) Entrevistas con especialistas involucrados en el proceso de discusión de alimentos transgénicos..... | 165 |
| 2) Entrevistas con consumidores en la Ciudad de México..... | 190 |
| VI) ANÁLISIS Y DISCUSIONES..... | 207 |
| VII) CONCLUSIONES..... | 231 |
| VIII) ANEXOS..... | 235 |
| IX) BIBLIOGRAFÍA..... | 291 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| ▪ Tabla 1 Especialistas entrevistados..... | 9 |
| ▪ Tabla 2 Hitos de la Biotecnología..... | 21 |
| ▪ Tabla 3 Ventajas e inconvenientes de las técnicas de clonación..... | 30 |
| ▪ Tabla 4 Métodos de transferencia de DNA en células vegetales..... | 43 |
| ▪ Tabla 5 Alimentos, ingredientes alimentarios y adyuvantes de procesado derivados de organismos genéticamente modificados..... | 49 |
| ▪ Tabla 6 Diferentes eventos de maíces Bt..... | 57 |
| ▪ Tabla 7 Sistema de protección de tecnologías..... | 65 |
| ▪ Tabla 8 Superficie global cultivada con transgénicos | 70 |
| ▪ Tabla 9 Distribución de superficie global cultivada con transgénicos por países..... | 74 |
| ▪ Tabla 10 Distribución de superficie global cultivada con transgénicos por tipo de cultivo.... | 76 |
| ▪ Tabla 11 Distribución de superficie global cultivada con transgénicos por tipo de tratamiento..... | 77 |
| ▪ Tabla 12 Cultivos transgénicos dominantes..... | 77 |
| ▪ Tabla 13 Principales compañías multinacionales semilleras en 2000..... | 82 |
| ▪ Tabla 14 Principales compañías multinacionales de agroquímicos en 2000..... | 83 |
| ▪ Tabla 15 Análisis de ensayos de productos transgénicos llevados a cabo en México de 1988 al 12 de marzo de 2002..... | 85 |
| ▪ Tabla 16 Principales desarrolladores de organismos transgénicos en México..... | 89 |
| ▪ Tabla 17 Productos biotecnológicos para consumo que se han evaluado y aceptado para su comercialización en México..... | 91 |
| ▪ Tabla 18 Lista de productos que contienen organismos genéticamente modificados según Greenpeace..... | 94 |
| • Tabla 19 Estudios para determinar la presencia de transgenes en maíz criollo mexicano... 101 | |
| ▪ Tabla 20 Estudios experimentales sobre los riesgos para la salud humana de los alimentos transgénicos..... | 116 |
| ▪ Tabla 21 Comparación entre el sistema de etiquetado voluntario y obligatorio..... | 137 |
| ▪ Tabla 22 Ejemplos de etiquetado voluntario conforme a las normas propuestas por la FDA..... | 138 |



- Tabla 23 Factores que influyen en el conocimiento sobre alimentos transgénicos..... 200
- Tabla 24 Producción y rendimiento de soya y maíz en Estados Unidos Argentina y Canadá, 1990 y 2003..... 215
- Tabla 25 Propuesta para México en torno a la seguridad alimentaria y los alimentos Transgénicos..... 223

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1 Distribución por género de la muestra poblacional encuestada..... 13
- Figura 2 Distribución por escolaridad de la muestra poblacional encuestada..... 13
- Figura 3 Distribución por ocupación de la muestra poblacional encuestada..... 14
- Figura 4 Aislamiento y transferencia de genes de un organismo a otro..... 26
- Figura 5 Obtención de cDNA..... 32
- Figura 6 Hibridación de ácidos nucleicos de colonias *in situ*..... 37
- Figura 7 Obtención de plantas transgénicas..... 46
- Figura 8 Superficie global cultivada con transgénicos, 1996 a 2003..... 69
- Figura 9 Distribución de superficie cultivada con transgénicos en países desarrollados y en países en vías de desarrollo, 1996 a 2003..... 71
- Figura 10 Distribución de superficie cultivada con transgénicos por país, 2003..... 72
- Figura 11 Distribución de superficie cultivada con transgénicos por tipo de cultivo, 2003.... 75
- Figura 12 Porcentaje de superficie cultivada con transgénicos con respecto al área total de cultivo, 2003..... 75
- Figura 13 Distribución de superficie cultivada con transgénicos por tipo de tratamiento, 2003..... 76
- Figura 14 Eventos transgénicos dominantes, 2003..... 78
- Figura 15 Principales características genéticas de los cultivos transgénicos en México..... 88
- Figura 16 Principales desarrolladores de organismos transgénicos en México..... 90
- Figura 17 Árbol de decisión desarrollado por IFBC e ILSE para determinar la posible alergenicidad de un alimento transgénico..... 136
- Figura 18 Distribución regional de ratificaciones del Protocolo de Cartagena..... 150
- Figura 19 Organigrama de CIBIOGEM..... 154
- Figura 20 Conocimiento de la muestra poblacional sobre el término "alimentos transgénicos" 192



| | |
|--|-----|
| ▪ Figura 21 Conocimiento de la muestra poblacional sobre el significado del término “alimentos transgénicos” | 192 |
| ▪ Figura 22 Opinión de la muestra poblacional sobre los alimentos transgénicos..... | 194 |
| ▪ Figura 23 Principales medios de información sobre alimentos transgénicos para la muestra poblacional..... | 195 |
| ▪ Figura 24 Consumo de alimentos transgénicos según la muestra poblacional..... | 196 |
| ▪ Figura 25 Productos transgénicos consumidos según la muestra poblacional..... | 197 |
| ▪ Figura 26 El interés por revisar la etiqueta de los alimentos consumidos según la muestra poblacional..... | 198 |
| ▪ Figura 27 Opinión de la muestra poblacional sobre el etiquetado de los alimentos transgénicos..... | 199 |
| ▪ Figura 28 Influencia de la zona de muestreo en el conocimiento sobre alimentos transgénicos..... | 201 |
| ▪ Figura 29 Influencia del nivel de estudios en el conocimiento sobre alimentos transgénicos..... | 202 |
| ▪ Figura 30 Influencia de la ocupación en el conocimiento sobre alimentos transgénicos..... | 203 |
| ▪ Figura 31 Influencia del tipo de centro de comercialización en el conocimiento sobre alimentos transgénicos..... | 205 |
| ▪ Figura 32 Influencia del género en el conocimiento sobre alimentos transgénicos..... | 206 |
| ▪ Figura 33 Rendimiento Promedio en Algodón <i>Bt</i> y Convencional (1996-2002)..... | 221 |



ABREVIATURAS

Términos técnicos:

- *A. Tumefaciens*: *Agrobacterium tumefaciens*
- *Bt*: *Bacillus thuringiensis*
- rBST: Somatotropina bovina recombinante
- CaMV: Virus del mosaico de la coliflor
- DNA: Ácido desoxirribonucleico
- cDNA: DNA complementario
- DNA-T: DNA transferido
- ELISA: Ensayo enzimático de inmunoabsorción (o bien, Prueba de inmunoabsorción ligada a una enzima)
- *E. coli*: *Escherichia coli*
- EPSPS: 5-enolpiruvilsikimato-3-fosfato sintasa
- IgE: Inmunoglobulinas E
- MIP: Manejo Integrado de Plagas
- OGMs: Organismos genéticamente modificados
- OVMs: Organismos vivos modificados
- PCR: Reacción en cadena de la polimerasa
- RNA: Ácido ribonucleico
- mRNA: RNA mensajero
- tRNA: RNA de transferencia
- rRNA: RNA ribosomal
- T-GURT: Tecnología de Restricción del Uso Genético
- TPS: Sistema de Protección de Tecnologías



Instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, centros de investigación y otros:

- ADPIC: Acuerdo de Propiedad Intelectual y Comercio
- AFP: Acuerdo Fundamentado Previo
- AMC: Academia Mexicana de Ciencias
- CDB: Convención de la Diversidad Biológica
- CDC: Centros para el Control de Enfermedades (USA)
- CECA: Comisión Económica para la Cooperación Ambiental
- CEFINI: Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno
- CIBIOGEM: Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados
- CIMMYT: Centro Internacional para la Mejora del Maíz y Trigo
- CINVESTAV: Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
- CNBA: Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola
- COFEMER: Comisión Federal de Mejora Regulatoria
- CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- DGVS: Dirección General de Sanidad Vegetal
- EPA: Agencia de Protección Ambiental (USA)
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- FDA: Administración de Alimentos y Medicamentos (USA)
- GAAT: Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio
- GEF: Fondo para el Medio Ambiente Mundial
- IBT: Instituto de Biotecnología
- INE: Instituto Nacional de Ecología
- INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
- ISAAA: Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones de la Agro-biotecnología
- MSF: Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias
- NOM: Norma Oficial Mexicana
- OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- OCI: Comité de Propiedad Intelectual



- OMC: Organización Mundial de Comercio
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- ONGs: Organizaciones no gubernamentales
- OTC: Obstáculos Técnicos al Comercio
- PCB: Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad
- PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
- SEA: Subcomité Especializado de Agricultura
- SEMA: Subcomité Especializado del Medio Ambiente
- SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
- SENASICA: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
- SSA: Secretaría de Salud
- TLCAN: Tratado de Libre Comercio de América del Norte
- TRIPS: Derechos de Propiedad Intelectual
- UNEP: Programa Medioambiental de las Naciones Unidas
- USDA: Departamento de Agricultura de Estados Unidos



RESUMEN

El presente trabajo de tesis tuvo por objetivo analizar, a través de un estudio multidisciplinario, los retos que se plantean por el uso de los alimentos transgénicos como una alternativa frente a la problemática que enfrenta la producción y distribución de alimentos de alta calidad en México.

Para ello, se desarrollaron dos etapas de trabajo: La primer etapa consistió en una *revisión bibliográfica* en la que se recopiló material teórico existente relativo a Biotecnología y alimentos transgénicos. La segunda etapa consistió en un *trabajo de campo* en el que se llevaron a cabo encuentros con especialistas en el tema involucrados en el debate público en México y con consumidores en general, una vez que se identificaron aquellas áreas de discusión que mayor debate han generado. Ello permitió realizar diagnósticos situacionales de los diferentes grupos involucrados en el proceso de discusión, y por otro lado, evaluar el conocimiento y la percepción que se tiene en México sobre la Biotecnología y los alimentos transgénicos.

A pesar de la incipiente investigación en Ingeniería Genética y Biotecnología que se realiza en México, ya tenemos organismos genéticamente modificados en alimentos para animales y en productos de consumo humano, sin embargo, el debate público se ha dado únicamente entre algunos miembros del sector académico, organizaciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y representantes del sector privado. No se ha logrado ningún consenso, en gran medida debido a que la discusión se ha politizado demasiado, además de que existen diversos intereses involucrados. El actor que falta en el proceso de discusión sobre alimentos transgénicos es el propio consumidor, que si bien es cierto en la mayor parte de los casos existe una gran desinformación en lo relativo al impacto que significan estas nuevas tecnologías, no muestra confianza en éstas.

Una opción que podría aglutinar a una buena parte de la ciencia y la tecnología, y de la sociedad en general, puede ser lo que se conoce hoy como desarrollo sustentable, fundamento de la propuesta elaborada para México en torno a la a la situación alimentaria y los alimentos transgénicos.

I. INTRODUCCIÓN



La Biotecnología Moderna, que utiliza técnicas de Ingeniería Genética o tecnología de DNA recombinante, ha brindado a la sociedad en los últimos años una serie de productos verdaderamente útiles en el área farmacéutica. Un buen ejemplo es la producción de insulina recombinante que ha permitido poner a disposición de los pacientes diabéticos insulina exactamente igual a la hormona humana a un precio más accesible, y sobre todo, con una disponibilidad amplia, nunca antes alcanzada. Estas aplicaciones farmacéuticas de la tecnología de DNA recombinante han tenido una amplia aceptación en la sociedad, puesto que el consumidor recibe directamente los beneficios de los nuevos productos al tener más y mejores medicamentos (Gálvez y Díaz, 2000).

Algo distinto ocurre con la misma tecnología pero aplicada a la producción de alimentos, donde el principal beneficiario hasta el momento es el productor: enzimas producidas por microorganismos recombinantes para la producción eficiente de queso o de cerveza; cultivos transgénicos como el maíz, empleados directamente para la alimentación; o bien, productos alimenticios con algún ingrediente obtenido por Ingeniería Genética. Por otro lado, se han ido generando temores acerca de la inocuidad de estos alimentos ya que se trata de productos novedosos, con una historia relativamente corta en términos de su consumo cotidiano; en 1994 se aprobó el primer tomate manipulado genéticamente en los Estados Unidos (Gálvez y Díaz, 2000).

Ante un panorama así, este trabajo de tesis representa una inquietud provocada por una revolución biotecnológica que ha producido y producirá transformaciones en la realidad social y en un conjunto de cuestiones sumamente problemáticas a las que científicos, economistas, sociólogos, organizaciones no gubernamentales y el propio Estado no encuentran respuestas totalmente satisfactorias.

La complejidad que implica la Biotecnología y sus efectos, genera la necesidad de la formación de grupos multidisciplinarios para arribar a soluciones consensuadas en torno a la viabilidad de los alimentos transgénicos como una opción tecnológica para la producción de alimentos e involucrar a todos los sectores de la población para validarlas.

En este sentido, el presente trabajo de tesis se fundamenta en un estudio multidisciplinario; pero ¿qué es en sí la multidiscipliplina?. Tratar de responder esta pregunta fundamental no es sencillo si tomamos en cuenta que no hay consenso ni siquiera en cuanto a la distinción entre multidiscipliplina e interdisciplina, pues frecuentemente se usan ambos términos de manera indistinta o se les tiene en un concepto muy simplista (Ávila, *et al.*, 2003). A pesar de esta falta de claridad conceptual, para



los fines del presente trabajo y con base en la investigación de algunos académicos del área humanidades de la UNAM, se utilizará el término de multidisciplina como *aquel trabajo concertado de diferentes profesionales a través de la utilización de sus cuerpos teórico-disciplinarios para la explicación, comprensión y solución de un problema específico* (Ávila, et al., 2003).

El Ingeniero en Alimentos, como participante activo dentro de las cadenas agroindustriales para la producción y distribución de alimentos, no debe permanecer indiferente ante el proceso de discusión ciudadana sobre la Biotecnología y sus productos. Es mucho lo que puede perderse en una discusión desinformada, pero es más aún lo que se puede ganar formando opinión.

De este modo, el presente trabajo de tesis tiene como fin primordial elaborar una propuesta para México en torno a la situación alimentaria y los alimentos transgénicos a partir del análisis e integración de información objetiva y reciente obtenida de distintas fuentes, además de difundir la información recopilada entre la sociedad. Para ello, se investigó la percepción de Biotecnología y alimentos transgénicos entre algunos de los principales actores políticos involucrados en el debate público en México, además de investigar el nivel de conocimiento y aceptación que tiene la población mexicana acerca de los alimentos transgénicos.

II. OBJETIVOS



OBJETIVO GENERAL:

A pesar de la incipiente investigación en Ingeniería Genética y Biotecnología que se realiza en México, ya tenemos organismos genéticamente modificados (OGM's) en alimentos para animales y en productos de consumo humano, lo que ha generado ya algunas dudas y controversias sobre los riesgos potenciales de este tipo de productos (López, 2001). Reconociendo además, que la Biotecnología y sus productos no son un nuevo enemigo a vencer, sino que al contrario, pueden contribuir al bienestar humano si en la delineación de su desarrollo nacional participan activamente sectores más amplios de la sociedad (Larson, 2002), el presente trabajo tiene como objetivo general: **Analizar, desde la multidisciplina, los retos que se plantean por el uso de los alimentos transgénicos como una alternativa frente a la problemática que enfrenta la producción y distribución de alimentos de alta calidad en México.**

OBJETIVO PARTICULAR No. 1:

Reunir información objetiva y reciente que permita contar con los elementos teóricos necesarios para entender la importancia de los alimentos transgénicos y sus posibles impactos.

OBJETIVO PARTICULAR No. 2:

Conocer los diferentes puntos de vista acerca de la Biotecnología y de los alimentos transgénicos mediante reuniones con los diferentes actores de la sociedad mexicana involucrados en el proceso de discusión sobre estos temas.

OBJETIVO PARTICULAR No. 3:

Analizar e integrar la información recopilada con la finalidad de elaborar una propuesta para México en torno a la situación alimentaria y los alimentos transgénicos.

OBJETIVO PARTICULAR No. 4:

Difundir por medio de artículos el debate que se está llevando a cabo en México sobre los alimentos transgénicos, de modo que sea posible ofrecer información clara y accesible al público en general.

OBJETIVO PARTICULAR No. 5:

Reconocer el compromiso social que tiene el Ingeniero en Alimentos como partícipe en el debate nacional sobre el impacto de los alimentos transgénicos en México.

III. METODOLOGÍA



Para cumplir con los objetivos planteados, se desarrollaron dos fases de trabajo (ver cuadro metodológico en la página siguiente):

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

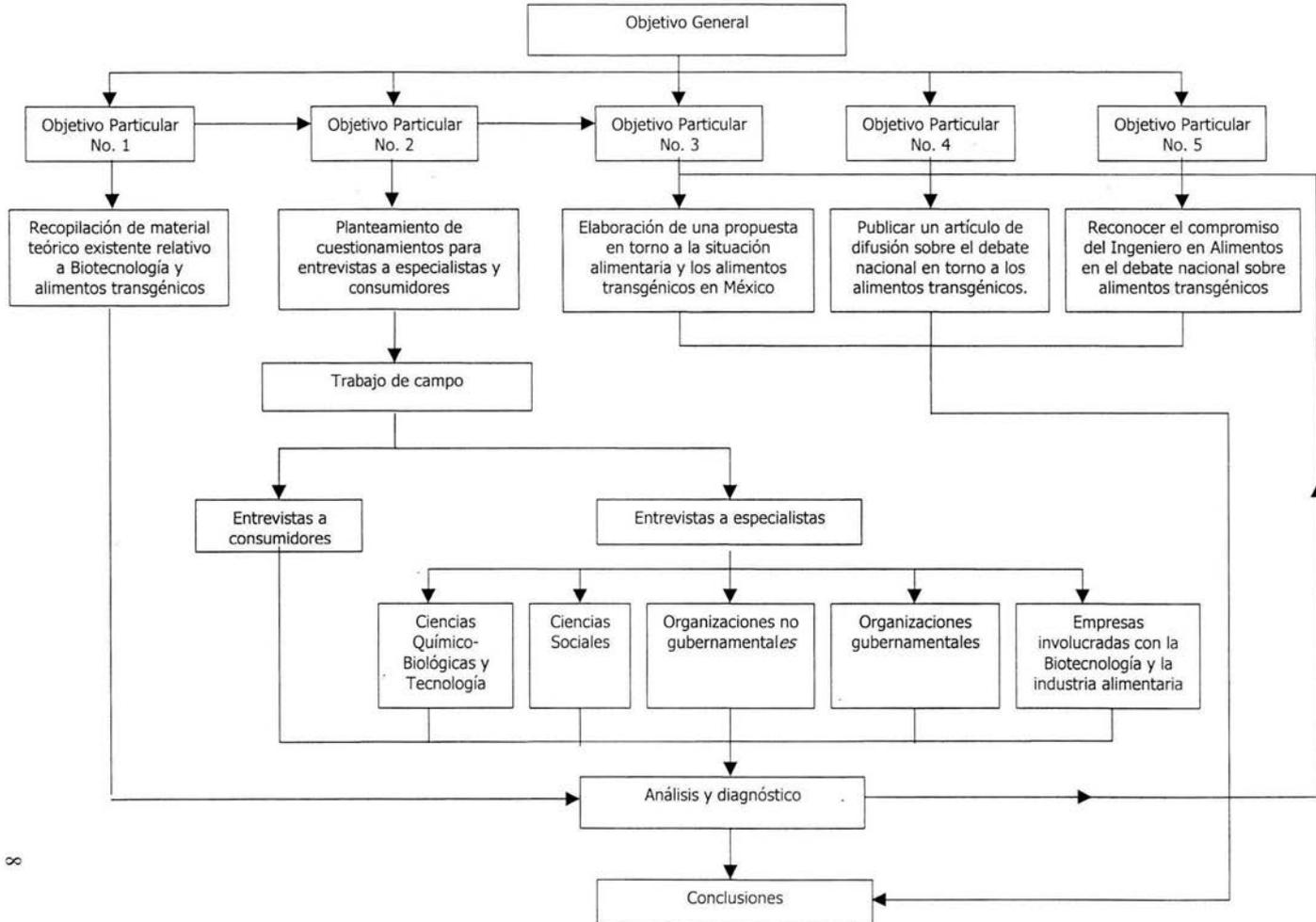
En una primera fase, se recopiló todo el material teórico existente relativo a Biotecnología y alimentos transgénicos. Para ello, se reunió sistemáticamente material proveniente de libros, artículos científicos, artículos periodísticos, manifiestos, documentos institucionales, leyes y normas, así como iniciativas, proyectos y trabajos que sobre el tema han sido publicados.

2. TRABAJO DE CAMPO

En una segunda fase se procedió a identificar aquellas áreas de discusión que mayor debate han generado, para posteriormente plantear cuestionamientos adecuados y llevar a cabo encuentros con especialistas en el tema y consumidores en general. Ello permitió realizar diagnósticos situacionales de los diferentes grupos involucrados en el proceso de discusión, y por otro lado, evaluar el conocimiento y la percepción que se tiene en México sobre la Biotecnología y los alimentos transgénicos.

El procedimiento metodológico descrito en los apartados siguientes para el trabajo de campo retomó algunos elementos de otros trabajos de investigación hechos al respecto, entre estos pueden mencionarse los trabajos de Mucci y Hough (2004), Magnusson y Koivisto Hursti (2002) y Sánchez (1995).

Cuadro Metodológico





2.1 Entrevistas con especialistas

Mediante una entrevista personal, se aplicó un cuestionario de preguntas abiertas a diez personas que pueden considerarse relevantes en el debate público sobre Biotecnología y alimentos transgénicos en México. Se plantearon preguntas generales y preguntas específicas según el área de trabajo del especialista entrevistado. En el siguiente cuadro se especifican los especialistas entrevistados:

Tabla No. 1: Especialistas entrevistados

Área: Ciencias Biológicas

| <i>Especialista entrevistado</i> | <i>Institución en la que labora</i> | <i>Semblanza Curricular</i> |
|---|-------------------------------------|--|
| 1. Dr. Agustín López Munguía Canales | Instituto de Biotecnología (UNAM) | <p>El Dr. Agustín López Munguía es jefe del grupo de Ingeniería y Tecnología de Enzimas del departamento de Ingeniería Celular y Biotatálisis en el IBT . El interés principal del grupo se centra en los aspectos aplicados de la Biotatálisis. Se desarrollan proyectos alrededor de la producción y caracterización de enzimas de diversos orígenes con aplicación potencial en los diversos sectores de la industria.</p> <p>El Dr. Agustín López Munguía es autor de varias publicaciones de divulgación de la ciencia y de casi treinta publicaciones recientes en revistas científicas. Ha sido galardonado con varios premios nacionales, recientemente recibió el Premio Nacional de Ciencias y Artes 2003.</p> |
| 2. Dra. Alejandra Alicia Covarrubias Robles | Instituto de Biotecnología (UNAM) | <p>La Dra. Alejandra Covarrubias es jefe de un grupo de investigación en el departamento de Biología Molecular de Plantas del IBT. El objetivo general del trabajo de investigación de este grupo ha sido obtener conocimiento sobre los mecanismos moleculares y celulares involucrados en las respuestas adaptativas de las plantas superiores a las condiciones adversas que más comúnmente afectan a las plantas terrestres. La Dra. Covarrubias es autora de 15 publicaciones recientes en revistas científicas.</p> |
| 3. Dr. Víctor Manuel Toledo Manzur | Instituto de Ecología UNAM | <p>Su área de investigación principal son las relaciones entre las culturas indígenas y la biodiversidad, además del desarrollo</p> |



sustentable y la ecología política en México y Latinoamérica. Ha publicado más de 200 trabajos de investigación y divulgación, entre ellos: *La paz en Chiapas: ecología, luchas indígenas y modernidad alternativa*. Su tarea se ha hecho acreedora de diversos premios nacionales e internacionales, entre ellos el Premio al Mérito Ecológico que otorga el gobierno de México. Es asesor de diversas organizaciones civiles y de productores indígenas.

Área: Ciencias Sociales

| <i>Especialista entrevistado</i> | <i>Institución en la que labora</i> | <i>Semblanza Curricular</i> |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| 4. Dr. Adolfo Olea Franco | UAM Xochimilco | Profesor de la UAM Xochimilco. Recientemente terminada su tesis doctoral, "One Century of Higher Agricultural Education and Research in Mexico (1850s-1960s), with a Preliminary Survey on the Same Subjects in the United States", en el Departamento de Historia de la Ciencia, Universidad de Harvard (2002). |

Área tecnológica

| <i>Especialista entrevistado</i> | <i>Institución en la que labora</i> | <i>Semblanza Curricular</i> |
|-------------------------------------|---|---|
| 5. Dr. José Luis Solleiro Rebolledo | Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico UNAM y Director Técnico de AgroBIO México | Investigador de la UNAM, donde fue fundador del Centro para la Innovación Tecnológica. Su producción como investigador comprende más de 100 trabajos publicados, entre artículos y capítulos de libros. El doctor Solleiro ha asesorado empresas privadas y organismos en áreas diversas relacionadas con la gestión de la innovación. Además es director técnico de AgroBIO México, la cual es la asociación de las empresas de Biotecnología Agrícola en México. En la actualidad coordina el proyecto CamBioTec, red multinacional de colaboración interempresarial para transferir biotecnologías agroalimentarias y ambientales. Fue galardonado con el Premio Jesús Silva Herzog de Investigación Económica y la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos. |



Organizaciones gubernamentales

| <i>Especialista entrevistado</i> | <i>Dependencia en la que labora</i> | <i>Semblanza Curricular</i> |
|----------------------------------|---|--|
| 6. Alejandra Barrios | Análisis de riesgos y Bioseguridad CONABIO | Química de Alimentos (UNAM), desde 2002 colabora en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en actividades relacionadas con el análisis de riesgos y Bioseguridad. |
| 7. Dra. Amanda Gálvez Mariscal | Coordinadora del Consejo Consultivo de Bioseguridad CIBIOGEM | Profesora de Biotecnología y Química de Alimentos en la UNAM, institución en la que ha sido profesora desde hace más de 18 años. Hizo la maestría en Ciencia y Tecnología de alimentos en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Sus áreas de investigación principales son la modificación y aplicación de proteínas funcionales, así como la detección molecular de secuencias transgénicas en alimentos de maíz. Actualmente es coordinadora del Consejo Consultivo de Bioseguridad de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Alimentos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) y fue asesora de la CONABIO y de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Desde 1995 pertenece también a la delegación mexicana ante el Protocolo Internacional de Bioseguridad. |

Organizaciones no gubernamentales (ONGs)

| <i>Especialista entrevistado</i> | <i>ONG</i> | <i>Semblanza Curricular</i> |
|----------------------------------|---|---|
| 8. Silvia Ribeiro | Investigadora Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, ETC | El Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, Grupo ETC antes RAFI, es una organización internacional de la sociedad civil, cuya secretaría internacional está en Canadá. Se dedica a la promoción de la diversidad cultural y ecológica y de los derechos humanos. El Grupo ETC es miembro del proyecto CBDC (Conservación y desarrollo de la biodiversidad con comunidades de pequeños agricultores). |
| 9. Mtra. Liza Covantes Torres | Coordinación de la campaña de Ingeniería Genética Greenpeace México | Greenpeace es reconocido en el mundo como una organización en defensa del ambiente que no tiene dependencia o intereses económicos o políticos con ningún gobierno, empresa, iglesia o partido político. Greenpeace México trabaja desde 1993 investigando y documentando problemas ambientales a nivel |



regional y nacional, presentando propuestas y alternativas, interviniendo directamente para exponer los atentados contra el ambiente y difundiendo información para generar sensibilidad en la sociedad, industrias y gobiernos y, en su caso, realizando acciones directas no violentas que deriven en soluciones y detengan a quienes destruyen la naturaleza de México.

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| 10. Mariano Cereijo Gelo | Activista independiente Consultor medioambiental y ecologista español | Articulista del periódico <i>La Jornada</i> |
|-----------------------------|---|---|

2.2 Entrevistas con consumidores

En el caso de las entrevistas a consumidores, se relevaron 400 casos de personas entre 16 y 60 años de edad seleccionadas por método aleatorio en la ciudad de México y área metropolitana¹ durante el mes de agosto de 2003 y el mes de enero de 2004, a quienes se aplicó un cuestionario estándar de ocho preguntas de opción múltiple mediante una entrevista personal. El error muestral para las estimaciones totales es del 5% con un nivel de confianza del 95% (ver apartado de tratamientos estadísticos). Con el objetivo de lograr una muestra representativa y acorde a la realidad (abarcar los principales estratos sociales de la ciudad de México y área metropolitana), se incluyeron cinco zonas de muestreo (norte, sur, centro, oriente y poniente) y los dos tipos principales de centros de comercialización de productos alimenticios en el país (mercados y tiendas de autoservicio). En las siguientes figuras puede observarse la distribución por género, escolaridad y ocupación en la muestra poblacional²:

¹ Según el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 (INEGI), el 57% de la población mexicana se encuentra en un rango de edad entre 15 y 59 años de edad.

² El criterio de clasificación por escolaridad fue el siguiente: En la categoría "primaria" se clasificaron a aquellos entrevistados que tienen como escolaridad cualquier año cursado o concluido el nivel de primaria. En la categoría "secundaria" se clasificaron a los entrevistados que tienen como escolaridad cualquier año cursado o concluido el nivel de secundaria. En las categorías "preparatoria" y "carrera comercial" se clasificaron a los entrevistados que tienen como escolaridad mínima el primer año de este nivel cursado, en caso contrario, se clasificaron dentro de la categoría secundaria. En la categoría "licenciatura" se clasificaron a los entrevistados que tienen como escolaridad mínima el primer año de este nivel, en caso contrario, se clasificaron dentro de la categoría preparatoria o carrera comercial, según fuese el caso.

El criterio de clasificación por ocupación fue el siguiente: En la categoría "empleado" se clasificaron a los entrevistados que trabajan ya sea como empleados comerciales y ventas, o bien, como empleados de gobierno. En la categoría "técnico/oficina" se clasificaron a los entrevistados que trabajan como analistas programadores,



Figura No. 1: Distribución por género de la muestra poblacional encuestada

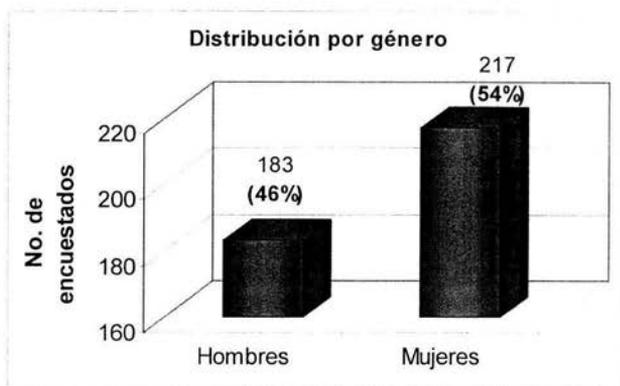
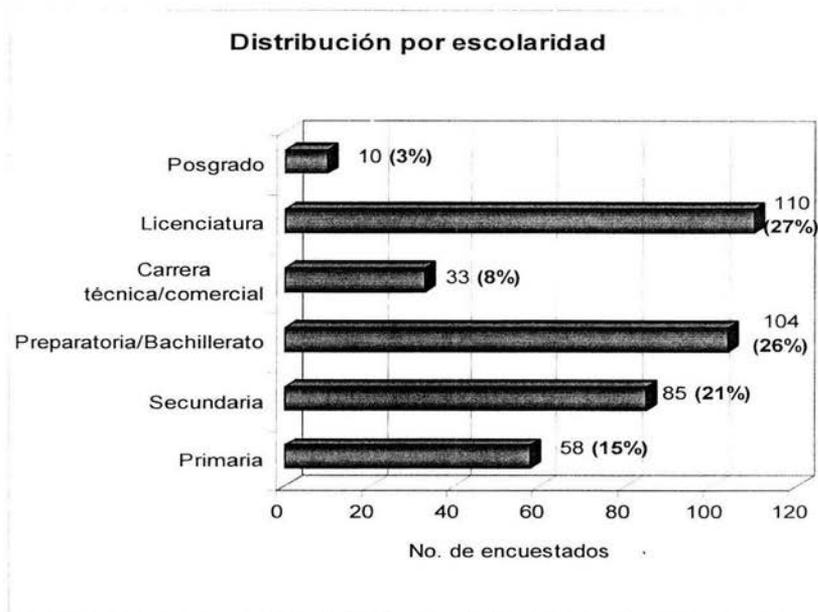
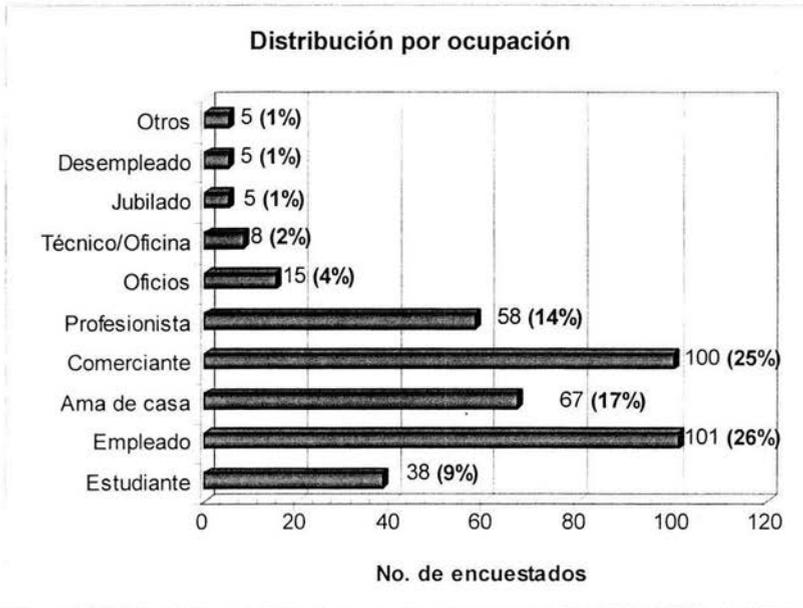


Figura No. 2: Distribución por escolaridad de la muestra poblacional encuestada



repcionistas, secretarias, etc. En la categoría "oficios" se clasificaron a los entrevistados que trabajan como mecánicos, policías, enfermeras auxiliares, estilistas, etc. En la categoría "profesionista" se clasificaron a los entrevistados con licenciatura que ejercen su profesión ya sea en una empresa particular, o bien, en la empresa o institución pública correspondiente.

**Figura No. 3: Distribución por ocupación de la muestra poblacional encuestada**

2.3 Tratamientos estadísticos

2.3.1. Elección del tamaño de la muestra para encuestas, sondeos y estudios de investigación.

Para manejar exitosamente el error de muestreo debemos enfocarnos en sus fuentes específicas: el tamaño y la representatividad de la muestra. El tamaño de la muestra se refiere al número de personas u objetos observados; la representatividad de la muestra se refiere al hecho de que todos los segmentos de la población están incluidos en la muestra en sus proporciones correctas de la población. Una norma tradicional en las encuestas de opinión, así como en sondeos de mercadotecnia, consiste en reportar los resultados con 95 por ciento de confianza y 3 por ciento de rango de error (es decir, un intervalo de confianza al 95 por ciento con ± 3 por ciento) (Ritchey, 2002).



Una vez elegido el tamaño del término del error el tamaño de la muestra requerido para alcanzar ese nivel de error se determina resolviendo n en la ecuación correspondiente del término del error. En este caso, debido a que el análisis se hace para una proporción poblacional, se aplica la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(P_m Q_m) (t_\alpha)^2}{(\text{Término del error})^2}$$

Donde:

- o n = tamaño de la muestra requerido
- o t_α = puntuación t que corresponde al nivel de confianza y significancia establecidos (por ejemplo, $t_\alpha = 1.96$ para un nivel de confianza del 95%)
- o $P_m = p$ [de la categoría de éxito en la muestra, una estimación conservadora puede ser 0.5]
- o $Q_m = p$ [de la categoría de fracaso en la muestra, una estimación conservadora puede ser 0.5]
- o Término del error = precisión deseada en los resultados reportados

Se requiere un tamaño de la muestra considerable para un 3 por ciento de error reportado en un nivel de confianza al 95 por ciento, de 1067 encuestados. Debido al alto costo que implica realizar un muestreo, muchas empresas encuestadoras han empezado a conformarse con muestras pequeñas y un error más grande (como +/- 5 por ciento) (Riitchey, 2002). Para este caso específico, se seleccionó un intervalo de confianza al 95 por ciento con +/- 5 por ciento, de lo que resultó un tamaño de muestra de 400 encuestados.

2.3.2 Análisis estadístico de resultados: prueba de CHI cuadrada.

En primera instancia se obtuvieron las proporciones correspondientes a cada categoría evaluada (conocimiento sobre el término "alimentos transgénicos", opinión sobre alimentos transgénicos, medios de información, consumo de alimentos transgénicos y opinión sobre el etiquetado).

Por otro lado, la existencia de una relación entre las variables estudiadas (género, zona geográfica, tipo de centro de comercialización de alimentos y conocimiento del término "alimento transgénico") se estableció mediante una prueba de hipótesis llamada la *prueba chi cuadrada*. En esta prueba, la relación entre dos variables se realiza usando una tabulación cruzada que reporta las frecuencias (no las proporciones) de las ocurrencias conjuntas de los atributos. Como con cualquier prueba de hipótesis, la hipótesis debe enunciarse de forma que nos permita saber qué resultados de la muestra esperar cuando la hipótesis sea verdadera. Con la prueba de chi cuadrada, se enuncia la hipótesis



estadística como una de “no relación” entre las dos variables (hipótesis nula). Cuando tal sea el caso, el estadístico chi cuadrada resultará cero con cierto error de muestreo.

Se aplica la prueba de chi cuadrada de la relación entre dos variables nominales cuando:

1. Hay una población con una muestra representativa de ella.
2. Se tienen dos variables, ambas con un nivel de medición nominal/ordinal.
3. La frecuencia esperada de cada casilla en una tabulación cruzada por lo menos es de cinco.

El cálculo estadístico de la chi cuadrada se basa en la medición de las diferencias entre las frecuencias observadas y frecuencias esperadas. Las frecuencias esperadas son las frecuencias conjuntas que ocurrirían en el muestreo repetido, cuando no existe relación entre las dos variables. Como en muchas fórmulas estadísticas, dichas diferencias se ubican en el numerador del estadístico de la prueba. De forma similar, el denominador de la mayoría de los estadísticos de las pruebas es una medida del error de muestreo normal, cuando la hipótesis estadística es verdadera. Así, las frecuencias esperadas se emplean en el denominador.

Cálculo del estadístico de la prueba chi cuadrada:

Donde:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$$

- o χ^2 = una medida de la probabilidad de las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas.
- o O = frecuencia observada de una casilla
- o E = frecuencia esperada de una casilla

$$E = \frac{(\text{total marginal por columna para la casilla})(\text{total marginal por fila para la casilla})}{\text{gran total}}$$

La forma particular de la distribución de la chi cuadrada para un problema dado depende del número de grados de libertad que es determinado por el número de casillas en la tabulación cruzada:

$$gl = (f-1)(c-1)$$

Donde:

- o gl = grados de libertad para la prueba chi cuadrada
- o f = número de filas en la tabulación cruzada
- o c = número de columnas en la tabulación cruzada



Existe un valor crítico de la chi cuadrada para un determinado nivel de confianza y para un determinado valor de grados de libertad. Este valor crítico significa que si no existe relación entre las dos variables para un nivel de significancia de 0.05, con el muestreo repetido el estadístico chi cuadrada resultará tan alto o mayor que el valor crítico sólo 5 por ciento de las veces. El otro 95 por ciento de las veces la chi cuadrada resultará menor que el valor crítico, con la mayoría de los resultados cayendo ligeramente arriba del cero; esto es justo lo que se espera cuando las frecuencias observadas y las esperadas son con cierto error de muestreo.

El estadístico chi cuadrada y la tabla de la chi cuadrada permiten calcular la probabilidad exacta de las diferencias entre las frecuencias de casilla observadas y esperadas, cuando la hipótesis nula de "no relación" es verdadera. Al comparar esta probabilidad con el nivel alfa, se rechaza la hipótesis estadística o no se rechaza.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



1. BIOTECNOLOGÍA

1.1 ¿Qué es la Biotecnología?

Biotecnología es un término que se empezó a utilizar a principios de la década de los sesenta para describir toda una serie de procesos de naturaleza biológica, algunos que datan de 3000 a 6000 años a.C., pero caracterizados en su conjunto, por haber sido desarrollados industrialmente en este siglo, con base en un amplio conocimiento de los aspectos bioquímicos y microbiológicos involucrados.

Actualmente nos encontramos en la mitad de otra revolución industrial en la que la Biotecnología, juega un papel principal en la producción de fármacos, compuestos químicos industriales, bioingredientes, combustibles e incluso alimentos.

La Biotecnología posee el potencial para producir cantidades prácticamente ilimitadas de:

- Sustancias de las que nunca se había dispuesto antes.
- Productos que se obtienen normalmente en cantidades pequeñas.
- Productos con coste de producción mucho menor que el de los fabricados por medios convencionales.
- Productos que ofrecen mayor seguridad que los hasta ahora disponibles.
- Productos obtenidos a partir de nuevas materias primas más abundantes y baratas que las utilizadas anteriormente.

La raíz "*bio*" significa *vida*, y se refiere a los microorganismos y al resto de células vivas incluyendo a las células animales y vegetales. "*Tecnología*" conlleva el procesado de los materiales biológicos producidos por las células a través de un proceso de integración y optimización a la máxima eficiencia para conseguir su comercialización (Byong, 2000).

La Biotecnología puede definirse de varias maneras:

- El uso de los microorganismos y las células animales y vegetales para la producción de bienes y servicios (*definición canadiense*).
- La utilización de moléculas, estructuras, células, u organismos de procedencia biológica para llevar a cabo un proceso específico (*definición estadounidense*).
- El uso integrado de la bioquímica, la microbiología y la ingeniería química para alcanzar aplicaciones industriales de los microorganismos o los cultivos de células o tejidos (*definición de la comunidad europea*).



La biotecnología de los alimentos consiste en la aplicación de las técnicas de la biotecnología a la elaboración y procesado de los alimentos (Byong, 2000). Incluye la fermentación de alimentos, que es el proceso biotecnológico más antiguo, y la producción de aditivos alimentarios, así como los cultivos de células animales y vegetales. Existen grandes dificultades para evaluar de una manera precisa las oportunidades económicas que surgirán de este progreso tecnológico. Se estima que el valor anual de los productos relacionados con la biotecnología en la industria alimentaria y de bebidas alcanzó los 35 000 millones de dólares (mdd) en el año 2000, comprados con los de la industria farmacéutica de 24 000 mdd y los de la industria química de 12 000 mdd a nivel mundial (Byong, 2000).

1.2 Historia de la Biotecnología

Se tienden a dividir los avances y aún las aplicaciones de la Biotecnología en grupos de acuerdo con los distintos períodos de su desarrollo:

- ***Biotecnología de la primera generación:***

También conocida como biotecnología "pre-Pasteur", "antigua" o "empírica". Cubre a procesos como la elaboración de bebidas alcohólicas, vinagre, productos lácteos, alimentos fermentados tradicionales, etc. En general, procesos desarrollados en épocas tan remotas que ni siquiera se tiene registro claro de su surgimiento y evolución temprana (Byong, 2000).

- ***Biotecnología de la segunda generación:***

Etapla denominada "era de Pasteur" y forma parte de la "biotecnología industrial". Se desarrolla a partir de la segunda mitad del siglo XIX, en 1865, con los conocimientos incipientes de la microbiología y la bioquímica. Finaliza hasta 1940 aproximadamente (Byong, 2000).

- ***Biotecnología de la tercera generación:***

Es conocida como la "era de los antibióticos" y forma parte también de la "biotecnología industrial". Abarca el periodo de 1940 a 1975, que corresponde al surgimiento y consolidación de la ingeniería bioquímica (Byong, 2000).

- ***Biotecnología de la cuarta generación:***

Es la llamada "nueva biotecnología" o "biotecnología moderna". Surge en la segunda mitad de la década de los setenta, fundamentalmente con la ingeniería genética, pero también dentro de la cual se incluyen los desarrollos del cultivo de tejidos y los anticuerpos monoclonales. En ocasiones se incluye una categoría adicional, la "biotecnología apropiada", término de gran ambigüedad, empleado en ocasiones para describir procesos de fácil implementación, de pequeña o mediana



escala, tendientes a resolver problemas sobre todo de índole energético o ecológico, sin objetivos de competitividad industrial (Byong, 2000).

En términos generales los productos y procesos correspondientes a las primeras tres generaciones se conocen en su conjunto como "vieja biotecnología", mientras que la cuarta generación es la "nueva biotecnología". En la siguiente tabla se resumen los principales hitos de la Biotecnología:

Tabla 2: Hitos de la Biotecnología

Vieja biotecnología

| <i>Fecha</i> | <i>Hito</i> |
|----------------------|---|
| Anterior a 6000 a.C. | Levadura de pan, bebidas alcohólicas y vinagre a partir de zumo fermentado. |
| Hasta el siglo XIV | Producción de cerveza y vino, industria del vinagre (Orleans). |
| 1650 | Cultivo de setas. |
| 1663 | Las células son por primera vez descritas por Hooke. |
| 1680 | Anton van Leeuwenhoek, ve por primera vez células de levadura. |
| 1855 | La bacteria <i>E. Coli</i> es descubierta, la cual se convierte después en la principal herramienta para el desarrollo y producción de compuestos derivados de la biotecnología. |
| 1857-1876 | Pasteur demuestra la capacidad fermentativa de las levaduras. |
| 1863 | Mendel descubre que las características genéticas son transmitidas de padres a hijos de manera discreta e independiente, llamando a las unidades responsables genes. |
| 1881 | Producción microbiana de ácido láctico. |
| 1885 | Cultivo artificial de setas. |
| Siglo XIX | Producción de etanol, ácido acético, butanol, acetona, tratamiento de aguas residuales, levadura de panadería, proceso al sulfito para el glicerol, ácido cítrico. |
| 1906 | Aparece el concepto de "genética" |
| 1919 | La palabra "biotecnología" es usada por primera vez por un mejorador de cultivos en Hungría, cuando se refiere a la técnica de selección e hibridación de cultivos, conocida también como "fitomejoración". |
| 1928 | Fleming descubre la penicilina, el primer antibiótico. |
| 1938 | Se acuña el concepto de "biología molecular". |
| Años 40 | Introducción de la esterilización en el cultivo microbiano para la producción de antibióticos (penicilina, estreptomycin, clortetraciclina) e ingredientes biológicos (aminoácidos, enzimas, vitaminas, esteroides, polisacáridos) y vacunas. |



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA BIOTECNOLOGÍA

| | |
|-----------|---|
| 1943 | Se demuestra que el DNA es el factor transformador y es el material genético. |
| 1953 | Watson y Crick descubren la estructura del DNA. |
| 1955 | Se aísla por primera vez la enzima responsable de la síntesis del DNA. |
| 1957 | Producción de ácido glutámico por kinoshita y colaboradores. |
| 1955-1960 | Producción de ácido cítrico en cultivo sumergido. |

Nueva biotecnología

| <i>Fecha</i> | <i>Hito</i> |
|---------------------|---|
| 1970 | Las nucleasas de restricción son identificadas, abriendo la posibilidad de clonación de genes. |
| 1970-1972 | Plásmidos de DNA bacterianos y transformación en <i>E. Coli</i> . |
| 1973 | Superación de barreras genéticas (enzimas de restricción). Cohen y Boyer llevan a cabo el primer experimento exitoso de DN recombinante usando genes bacteriales. |
| 1974 | Expresión de un gen heterólogo en <i>E. coli</i> . |
| 1975 | Obtención de hibridomas (anticuerpos monoclonales). |
| 1978 | Somatostatina (primer producto del DNA recombinante). |
| 1982 | Insulina humana recombinante (Humulin®). |
| 1983 | Expresión genética heteróloga en vegetales. La Universidad de Wisconsin, en abril, anunció en una conferencia en Los Ángeles, California, que habían insertado un gen de una especie vegetal en otra especie vegetal. |
| 1984 | La técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) es desarrollada para hacer copias ilimitadas de genes o fragmento de DNA. |
| 1985 | Patente de Cohen/Boyer. |
| 1986 | Hormona del crecimiento humana recombinante (Protropin®). Vacuna recombinante para la hepatitis B (Recombivax HB®). |
| 1987 | α -Interferón recombinante (Roferon A®). |
| 1989 | Activador tisular del plasminógeno (Activase®), triptófano recombinante. Interleuquina-2 recombinante (Proleuquina®), γ -interferón recombinante (Immuneron®). |
| 1989-91 | Quimosina recombinante (Gist-Brocades, Genencor, Pfizer) Vitamina C recombinante (Genencor), cultivos lácticos indicadores resistentes a fagos. |
| 1990 | Levadura de panadería rica en maltasa. |
| 1992 | Lipasa (Unilever), amilasa (Novomil®) |



| | |
|------|---|
| 1994 | Tomate Flavr Savr (Calgene) y desarrollo de cultivos transgénicos, somatotropina bovina recombinante (Eli Lilly, Monsanto), levadura de cervecía (Carlsberg, British Brewing Research Institute), acetato descarboxilasa (Novo Maturex). Nutropin, de Gentech es usado como tratamiento de deficiencia de la hormona de crecimiento. |
| 1995 | La primer secuencia genética completa de un organismo vivo diferentes a los virus es completada para la bacteria <i>Haemophilus influenzae</i> . |
| 1996 | Avonex, de la empresa Biogen, es aprobado para el tratamiento de esclerosis múltiple. Científicos escoceses clonan a "la oveja Dolly" a partir de una célula de animal adulto. |
| 2001 | Celera Genomics y PGH (Proyecto del Genoma Humano) presentan el 12 de febrero en forma oficial el desciframiento del mapa del genoma humano en Washington, Pekín, Berlín, Tokio, París y Londres. |

Fuente: Elaboración propia con datos de Byong (2000) y Delgado (2002)

1.3 La Biotecnología Moderna

Por "**Biotecnología moderna**" se entiende la aplicación de:

- Técnicas *in vitro* de ácido nucleico, incluidos el ácido desoxirribonucleico (DNA) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o
- La fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional.¹

Una vez desentrañados la estructura del DNA² y del código genético³, quedó claro que muchos secretos biológicos profundos estaban encerrados en la secuencia de bases del DNA. Pero la

¹ Definición tomada de textos y anexos del Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica (Anónimo₂, 2003).

² Ácido desoxirribonucleico. Largo polímero lineal compuesto por cuatro tipo de nucleótidos de desoxirribosa, que contiene la información genética. En su estado nativo, el DNA es una doble hélice compuesta por dos hebras antiparalelas unidas por enlaces de hidrógeno entre bases púricas (adenina y guanina) y pirimidínicas (timina y citosina) complementarias. El DNA se encuentra altamente plegado formando unas estructuras denominadas cromosomas. Cada cromosoma es una única molécula de DNA (Lodish *et al.*, 2002)



identificación de ésta en largas regiones del DNA parecía un sueño distante, y aún más lejana la posibilidad de alterarlas según necesidad.

En la década de 1970, como ya se ha descrito, una avalancha de descubrimientos tecnológicos cambió esta perspectiva y condujo a los sorprendentes adelantos de la biología molecular celular de los últimos veinte años, basados en el análisis y manipulación de macromoléculas, en especial el DNA.

Fue el descubrimiento de la tecnología del DNA recombinante⁴, popularmente conocida como ingeniería genética o biotecnología moderna, la causa del actual auge de la biotecnología. Las técnicas convencionales para el intercambio de material genético por medio de mutación y recombinación genética no irían más allá de conjugar miembros del mismo género, o en muchos casos, miembros de la misma especie. La tecnología del DNA recombinante ofrece la posibilidad de mejorar los procesos y productos existentes, pero también permite desarrollar productos heterólogos totalmente nuevos. Por medio de la tecnología del DNA recombinante es posible comprender la organización, la expresión y la estructura de los genes, así como diagnosticar muchas enfermedades hereditarias. Esta tecnología también está creando microorganismos industriales únicos capaces de sintetizar proteínas valiosas y está hallando un amplio abanico de posibilidades en otros procesos industriales y agrícolas.

La tecnología del DNA recombinante ha supuesto un salto en la investigación básica gracias a tres innovaciones que han ocurrido casi simultáneamente (Lodish *et al.*, 2002).

- Descubrimiento y acceso comercial a las enzimas endonucleasas de restricción, que reconocen y cortan secuencias de nucleótidos específicos dentro de la molécula de DNA.
- Creación y purificación con alto rendimiento de vectores de clonación artificiales (por ejemplo, plásmidos de DNA en los que se han introducido artificialmente marcadores y sitios de restricción).
- Habilidad para transformar *E. coli* e identificar los transformantes que contienen clones recombinantes.

³ Conjunto de reglas a través de las cuales los tripletes de nucleótidos (codones) de DNA y RNA especifican los aminoácidos de proteínas (Lodish *et al.*, 2002).

⁴ Cualquier molécula de DNA formada por la unión de fragmentos de DNA de fuentes diferentes. Por lo general, se produce por el corte de moléculas de DNA mediante enzimas de restricción y la posterior unión de los fragmentos obtenidos de las distintas fuentes, mediante una DNA ligasa (Lodish *et al.*, 2002).



2. INGENIERÍA GENÉTICA Y DNA RECOMBINANTE

2.1 DNA recombinante y clonación

El DNA recombinante puede definirse como "nuevo DNA formado por la unión de fragmentos de DNA de procedencias diversas" (Grace, 1998). Las técnicas del DNA recombinante han permitido la identificación, aislamiento y transferencia de genes¹ de una especie a otra. Para transferir un gen de un organismo a otro se precisan de los siguientes requerimientos básicos (Fig. 4):

- 1) El gen que da lugar a una característica particular debe ser identificado, lo cual requiere información de la ruta y de su control.
- 2) Preparación de fragmentos de DNA para clonar.
- 3) El gen, o bien, los fragmentos de DNA, deben ser transferidos a un vector de clonación² (recombinante resultante).
- 4) Los recombinantes resultantes (o vectores de clonación) se introducen en la célula hospedadora³ por un proceso de transformación o transfección para la obtención de las llamadas bibliotecas genómicas⁴, o bien, bibliotecas de cDNA⁵.
- 5) Selección de los clones⁶ recombinantes.
- 6) Maximización de la expresión genética.

¹ Unidad física y funcional de la herencia, formada por una secuencia concreta de nucleótidos en una determinada localización de un cromosoma específico. En términos moleculares, es toda la secuencia de DNA que incluye exones, intrones y regiones de control de la transcripción no codificadoras, necesarias para la producción de una proteína o un RNA funcional (Lodish *et al.*, 2002). Exones son los segmentos de un gen eucarionte o de su transcripción primaria que codifican para las proteínas, llegan al citoplasma como parte de una molécula de mRNA, rRNA o tRNA (Lodish *et al.*, 2002). Intrones son los segmentos de un gen eucarionte o de su transcripción primaria, que no codifican para ninguna proteína y se eliminan durante el procesamiento de RNA y no se incluye en los mRNA, rRNA o tRNA maduros. (Lodish *et al.*, 2002).

² En biología celular, agente capaz de transportar DNA hacia el interior de una célula u organismo. El vector de clonación es elemento genético de replicación autónoma que se usa para transportar un cDNA o un fragmento de DNA genómico hacia el interior de una célula huésped, con el fin de clonar un gen (Lodish *et al.*, 2002).

³ Célula transformada con la finalidad de que exprese el gen de interés que ha sido clonado. Las células hospedadoras se hacen crecer obteniéndose así múltiples células hijas que contienen el gen y que proceden de una única célula inicial (Lodish *et al.*, 2002).

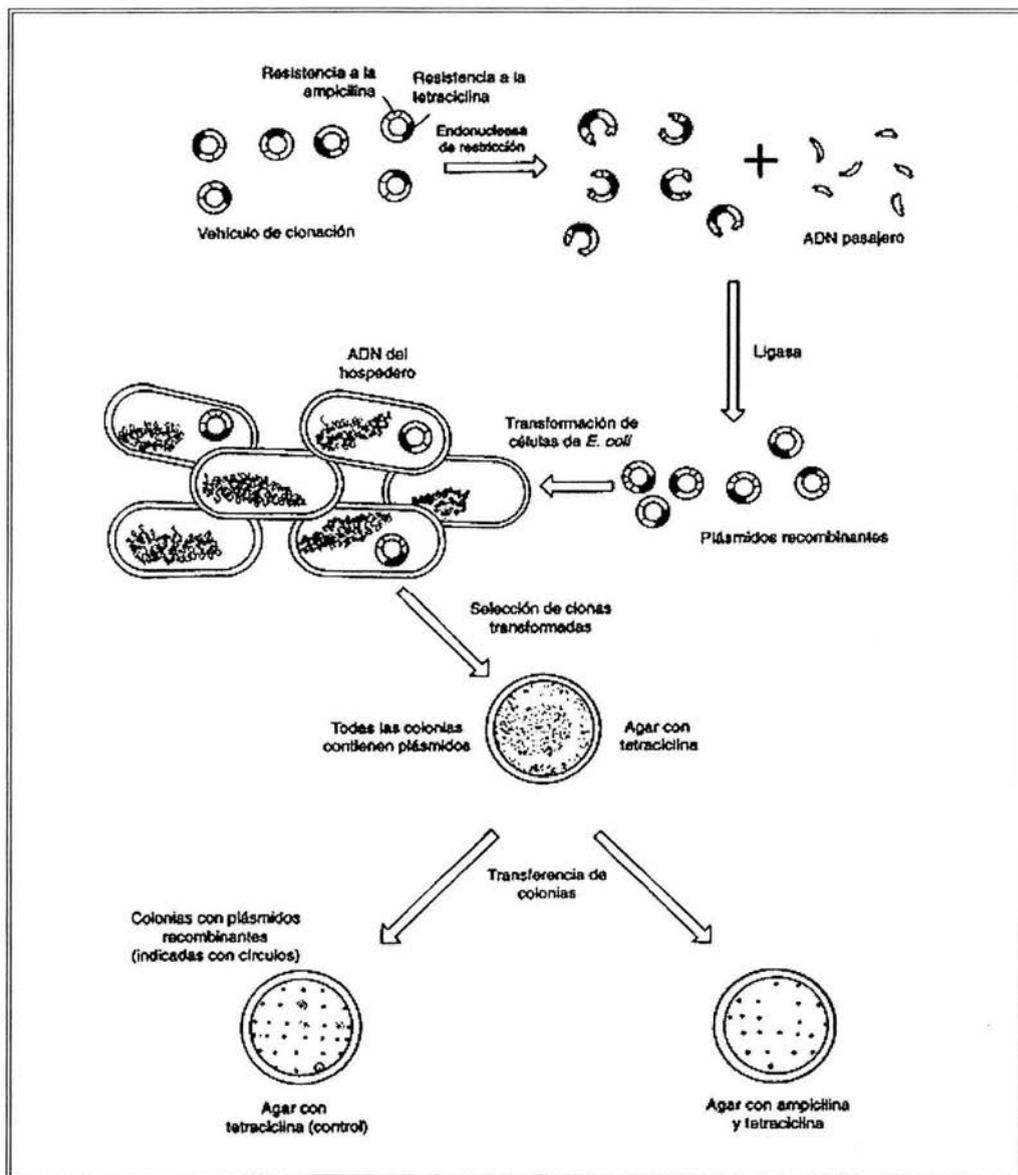
⁴ La colección de clones que incluyen todas las secuencias de DNA de una especie determinada (Lodish *et al.*, 2002).

⁵ Cuando se trata de una gran colección de clones que incluyen copias de cDNA de todos los mRNA de un tipo celular (Lodish *et al.*, 2002).

⁶ Población de células o moléculas de DNA idénticas que descienden del mismo progenitor. También se aplica a virus y organismos genéticamente idénticos que descienden de un único progenitor (Lodish *et al.*, 2002).



Figura 4: Aislamiento y transferencia de genes de un organismo a otro.



Fuente: Soberón (1996)



2.1.1 Las herramientas de la tecnología del DNA recombinante

2.1.1.1 Enzimas de restricción y su importancia en la tecnología del DNA recombinante

Para clonar fragmentos específicos de DNA en un vector se deben producir fragmentos de DNA y luego insertarlos en el DNA vector. En muchos casos, la producción de fragmentos de DNA se lleva a cabo mediante las enzimas de restricción.

Las enzimas de restricción son enzimas bacterianas que reconocen secuencias específicas de 4 a 8 pares de bases, denominadas sitios de restricción, y luego escinden ambas hebras de DNA en ese sitio (Lodish *et al.*, 2002). Dado que escinden el DNA dentro de la molécula, también se denominan endonucleasas de restricción, para distinguirlas de las exonucleasas que digieren los ácidos nucleicos a partir de un extremo. El término restricción incorporado en el nombre de estas enzimas se refiere a su función dentro de la bacteria de la cual se aíslan: una endonucleasa de restricción destruye (restringe) el DNA extraño que ingresa (por ejemplo, DNA bacteriófago). Estas enzimas restringen la infección de bacteriófagos entre las cepas bacterianas. Los bacteriófagos que pueden sobrevivir en una cepa pueden no sobrevivir en otras cepas con enzimas de restricción diferentes. Las enzimas de restricción no afectan el DNA celular propio ya que otra enzima, denominada enzima de modificación, que a través del mecanismo de metilación protege el DNA de la bacteria de la escisión o cerca de él.

Se conocen tres tipos de endonucleasa de restricción. Su agrupación se basa en los tipos de secuencias que reconocen, la naturaleza del corte que hacen en el DNA y la estructura de la enzima. Las endonucleasas del tipo III reconocen puntos específicos y cortan justo por esos puntos, por lo que son las que resultan útiles en la clonación de genes. Los sitios reconocidos por las endonucleasa del tipo III son repeticiones invertidas; esto es, la secuencia del sitio de restricción es la misma sobre cada hebra de DNA, tienen un eje de simetría.

Las endonucleasa de restricción reciben el nombre según la bacteria a partir de la cual se han aislado. Se han identificado más de 100 enzimas diferentes de este tipo (Byong, 2000).

2.1.1.2 Los vectores de clonación y su importancia en la tecnología del DNA recombinante

La esencia de la tecnología del DNA recombinante es el aislamiento de un componente particular, que puede ser un gen. El vector de clonación es la herramienta que permite aislar el gen de interés,



por lo tanto, el éxito de la manipulación genética depende en gran medida de la disponibilidad de un vector adecuado, que asegure la replicación y el mantenimiento tanto del DNA del vector como del DNA foráneo integrado. Un vector de clonación útil debe tener:

- Un origen de replicación (esto es, una secuencia de nucleótidos que dirige controla la replicación de modo que cada célula contenga un número razonablemente constante de copias en dicho vector). El origen de la replicación (ORI) puede tener de 50 a 100 pares de bases (Lodish *et al.*, 2002). Las enzimas de la célula huésped se fijan al ORI e inician la replicación del vector de clonación, cualquiera que fuere la secuencia de nucleótidos. Por lo tanto, cualquier secuencia de DNA insertada en el vector se replica junto con el resto; esta propiedad es la base de la clonación de DNA molecular.
- Marcadores fenotípicos o de auxotrofia⁷ que faciliten la identificación de insertos aparte de los clásicos genes de resistencia a antibióticos (por ejemplo, el gen de resistencia a ampicilina codifica una β -lactamasa que inactiva el antibiótico ampicilina). Se pueden utilizar también genes con luminiscencia, en este caso, la célula que contenga el gen que se quiere clonar, tendrá la propiedad de emitir luz, ya que el marcador que se le incorpora determina que se exprese esa característica. Este sistema se emplea cuando la célula hospedadora es una célula eucariota.
- Genes marcadores con sitios de restricción únicos para una o más endonucleasas de restricción diferentes (poliligadores).
- Tamaño molecular lo más bajo posible.

Existen básicamente tres tipos de vectores de clonación, los **plásmidos**, los **bacteriófagos** y los **cósmidos**, de los cuales, los vectores plásmidos de *E. coli* son los que se utilizan para la mayor parte de clonación de DNA, debido a la relativa sencillez del procedimiento de clonación (Lodish *et al.*, 2002).

- **Plásmidos**

Son moléculas de DNA de doble cadena autorreplicativos y extracromosómicos que se encuentran a menudo en las bacterias y en algunos eucariotas inferiores. La mayoría son circulares, pero también existen algunos lineales. Estas moléculas son transmisibles; esto es, tienen la capacidad de transferirse a sí mismas durante la conjugación. No son esenciales para el crecimiento, pero a veces confieren propiedades inusuales a las células que parasitan. Estos plásmidos que confieren nuevas

⁷ Célula o microorganismo mutante que sólo crece cuando el medio contiene un nutriente o metabolito específico, no requerido por el tipo salvaje (Lodish *et al.*, 2002).



propiedades son de gran tamaño, de hasta más de 100 kilobases, y suelen existir una o dos copias por cromosoma bacteriano (Byong, 2000). El vector de clonación mejor conocido es probablemente el plásmido bacteriano pBR322, que fue creado artificialmente utilizando diferentes porciones de algunos plásmidos naturales, uniéndole dos fragmentos de DNA que confieren resistencia a los antibióticos ampicilina y tetraciclina, respectivamente.

- **Bacteriófagos**

El bacteriófago lambda es el virus bacteriano más estudiado; ha sido extensamente modificado hasta convertirlo en vector de clonación, se han construido vectores lambda múltiples que contienen distintos sitios de restricción. Es posible insertar hasta 25 kilobases de DNA extraño en un genoma lambda, para obtener un DNA recombinante que se empaqueta in vitro y forma viriones, capaces de replicarse y formar placas en células huésped de *E. coli* (Tamarin, 1996).

- **Cósmidos**

Para obtener la secuencia de DNA muy largos, como por ejemplo, el de un cromosoma eucarionte, conviene clonar fragmentos mucho más grandes. Además, debido a la presencia frecuente de grandes intrones en los genes de los eucariontes superiores, a menudo es necesario clonar fragmentos de DNA mayores de 25 kilobases, a fin de incluir todo un gen en un clon. En consecuencia, se han desarrollado otro tipo de vectores para clonar fragmentos más grandes de DNA. Estos nuevos vectores utilizan elementos de la clonación por plásmidos y por bacteriófagos. Mediante este método, denominado clonación cósmida, se introducen con eficiencia plásmidos recombinantes con fragmentos de hasta 45 kilobases de largo en células de *E. coli* (Lodish, *et al.*, 2002).

2.1.2 Requerimientos básicos para la clonación de DNA y transferencia de un gen de un organismo a otro

2.1.2.1 Preparación de fragmentos DNA para clonar

Para empezar a producir DNA recombinante, se requiere disponer de algunos filamentos puros de la molécula de DNA con los que trabajar. Una vez aislado y purificado el DNA total de la célula o tejido de interés, se procederá a aislar el fragmento de DNA o gen que se desea clonar.

El aislamiento de un gen de cualquier origen puede realizarse por una serie de técnicas que se han denominado "técnicas de clonación". Básicamente existe cuatro posibles rutas para obtener un determinado producto (Tabla 3):



- Clonación por perdigonada a partir del DNA total, por clonaje de fragmentos de restricción.
- Clonación con cDNA⁸ a partir de RNA mensajero⁹ (Fig. 5).
- Clonación con DNA sintético si la secuencia de proteína que codifica el gen es conocida
- Clonación por PCR utilizando cebadores derivados de genes relacionados.

Tabla 3 Ventajas e inconvenientes de las técnicas de clonación

| Ruta de clonación | Características | Ventajas | Desventajas |
|---------------------------|---|--|--|
| Clonación por perdigonada | Esta técnica se aplica cuando se requiere el gen completo y es la más empleada. Una vez aislado el DNA genómico, se produce una colección de fragmentos cortando el DNA con enzimas de restricción. | -Fácil de hacer sin necesidad de conocer la secuencia | -Necesita tener un buen método de selección para diferenciar entre los muchos clones diferentes. -Los genes que contienen intrones no serán expresados correctamente por <i>E. coli</i> . -La expresión depende del reconocimiento del gen foráneo. -La elección de codones puede no ser la óptima. |
| Clonación con cDNA | Esta técnica se aplica si sólo interesa la proteína expresada. El DNA complementario se sintetiza | -Técnicamente es más fácil de realizar. -Elimina el problema de los intrones, ya que el mRNA de | -El mRNA de interés puede no ser abundante. -La elección del sistema de codones puede no ser la |

⁸ DNA complementario. Molécula de DNA copiada de una molécula de mRNA mediante la transcripción inversa, por lo que carece de los intrones presentes en el DNA genómico (todas las secuencias de DNA que componen el genoma de una célula u organismo) (Lodish *et. al.*, 2002).

⁹ RNA es ácido ribonucleico. Es un polímero lineal monocatenario compuesto por nucleótidos de ribosa y sintetizado por la transcripción de DNA o por la copia de RNA. Los tres tipos de RNA celular –mRNA, rRNA, tRNA- desempeñan distintos papeles en la síntesis de proteínas. El mRNA es el RNA que especifica el orden de aminoácidos de una proteína (Lodish *et. al.*, 2002).

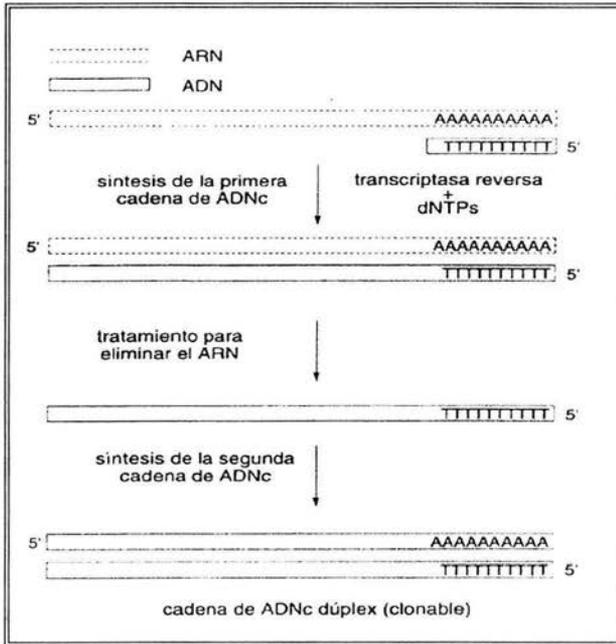


| | |
|-----------------------------|---|
| | a partir del RNA mensajero partida no los contiene. óptima para <i>E. coli</i> . |
| | que puede ser extraído de -Menos laborioso para la célula o tejido que selección. |
| | expresa la proteína en cuestión. |
| Clonación con DNA sintético | Esta técnica se aplica -Fácil de optimizar y de -Se requiere conocer la cuando la secuencia de cambiar la secuencia de secuencia de la proteína antes nucleótidos o de promotores y sitios de unión de comenzar la clonación. aminoácidos se conoce con a ribosomas. -La degeneración del sistemas antelación ¹⁰ . -Hace posible mutaciones de codones es un problema. altamente específicas. |
| Clonación por PCR | La reacción en cadena de la -Amplifica directamente -Requiere del diseño de polimerasa (PCR) es un secuencias específicas de cebadores que puedan nuevo y poderoso método DNA en una mezcla compleja reconocer el principio y final <i>in vitro</i> de amplificación cuando se conocen los del gen. enzimática de una pequeña extremos de la secuencia cantidad de DNA a partir de -Sólo requiere una pequeña oligonucleótidos cebadores cantidad de DNA. que flanquean la región a amplificar en el DNA de doble cadena. |

Fuente: Byong (2000)

¹⁰ Se puede aislar la proteína de la que se quiere obtener el gen e intentar determinar por medios químicos la secuencia de aminoácidos que la componen. Si la proteína es suficientemente pequeña puede ser secuenciada en su totalidad y esta información, gracias al código genético, es utilizada para sintetizar químicamente el gen (Byong, 2000).

Figura 5: Obtención de cDNA



Fuente: Soberón (1996)

2.1.2.2 Inserción en el vector

Normalmente el vector (ya sea un plásmido, un bacteriófago o un cósmido) se corta con la misma enzima de restricción que la utilizada para generar los fragmentos de DNA cromosómicos, los vectores linearizados se incuban junto con el fragmento a unir en presencia de DNA ligasa¹², que une de manera covalente los extremos cohesivos de las moléculas de DNA. De la mezcla de ligación, algunos vectores contendrán un fragmento de DNA insertado, produciendo así DNA híbrido o recombinante (o quimérico). Sólo algunos de los vectores quiméricos contendrán el gen deseado.

¹¹ Se puede aislar la proteína de la que se quiere obtener el gen e intentar determinar por medios químicos la secuencia de aminoácidos que la componen. Si la proteína es suficientemente pequeña puede ser secuenciada en su totalidad y esta información, gracias al código genético, es utilizada para sintetizar químicamente el gen (Byong, 2000).

¹² La DNA ligasa cataliza la formación de enlaces fosfodiéster



Ahora bien, el tratamiento con endonucleasas de restricción puede no ser suficiente para la clonación: un corte de una endonucleasa puede caer en un mal lugar, por ejemplo, en medio de un gen deseado, o el DNA foráneo puede haberse aislado por otros métodos, tales como el cizallamiento físico. En estos casos se pueden usar otros métodos de clonación, tales como la técnica poli-dA/poli-dT o el método de la ligación de extremos romos que utiliza la enzima DNA ligasa del fago T4 (Tamarin, 1996).

2.1.2.3 Transformación / transducción de la célula hospedadora

Una vez que el vector presente el gen de interés, se transfiere a la célula huésped.

Un buen organismo huésped debe caracterizarse por:

- Poder crecer rápidamente.
- Hacerlo de manera barata.
- Que sea fácilmente manipulable.

Hay tres tipos de células huésped:

- Bacterias, especialmente cepas de *Escherichia coli*
- Levaduras
- Ciertas células eucariotas como las líneas celulares derivadas de alguna planta o algún mamífero.

Cada uno de estos tipos celulares tiene sus ventajas e inconvenientes. Las bacterias se caracterizan porque su material genético es muy simple, suelen crecer muy rápido y las condiciones de crecimiento son bastante sencillas. Su principal inconveniente es que no llevan a cabo algunas de las modificaciones que sí realizan las células eucariotas en las proteínas, por ejemplo la glicosilación. Las levaduras y las líneas celulares son más complicadas, especialmente estas últimas, no crecen tan rápido y suelen ser más difíciles de tratar. No obstante, la ventaja es que ambos sistemas pueden llevar a cabo modificaciones como las descritas anteriormente.

Los recombinantes resultantes se introducen en la célula hospedadora por:

1) Transformación

La transformación es un proceso que ocurre espontáneamente en ciertos tipos de bacterias y se consigue artificialmente sometiendo a la célula bacteriana a tratamientos físicos y químicos.



La célula capta moléculas de DNA que se encuentran en el medio externo, las introduce en su interior y las incorpora a su genoma.

En este proceso el hospedador más común es *E. coli* y el vector de clonación es un plásmido o un cósmido.

La mezcla ligada de plásmido se introduce en una suspensión de bacterias previamente tratadas con una solución fría de CaCl_2 (Byong, 2000). Tras este tratamiento las células se mezclan con el DNA plasmídico a introducir, se da un breve choque térmico, y se le permite recuperarse. Se pueden obtener hasta 10^7 transformantes por microorganismo de DNA, que es suficiente para el propósito de clonación (Byong, 2000).

Los clones obtenidos en su conjunto constituyen una biblioteca genómica.

2) Transducción

La transducción consiste en introducir el DNA en la célula hospedadora mediante un virus, utilizando como vector de clonación el genoma del virus. En este proceso el hospedador más común es *E. coli* y el vector de clonación es el bacteriófago lambda. La infección por un fago es alrededor de mil veces más eficiente que la transformación con vectores plásmidos, por ello tan eficiente la clonación con fago lambda (Lodish *et al.*, 2002).

Los DNA recombinantes obtenidos son empaquetados en viriones lambda *in vitro*. Para preparar viriones lambda infectados que contengan DNA recombinante se efectúa el proceso de ensamblaje del fago *in vitro*. En uno de los métodos se infectan las células de *E. coli* con un mutante lambda defectuoso en proteína A, una de las dos proteínas requeridas para empaquetar el DNA lambda dentro de las cabezas preensambladas del fago. Estas células acumulan cabezas ya ensambladas "vacías", dado que las colas sólo se adosan a cabezas llenas con DNA. Las colas preensambladas también se acumulan en estas células. Un extracto que contenga elevadas concentraciones de cabezas y colas vacías se prepara mediante la lisis de células infectadas por el mutante lambda A. Cuando este extracto se mezcla con proteína A aislada y DNA lambda recombinante que contiene un sitio cos, el DNA se empaqueta dentro de las cabezas vacías. Las colas del extracto entonces se combinan con las cabezas llenas, para dar viriones completos que contienen el DNA lambda recombinante. Una vez que se siembran los viriones lambda sobre un cultivo de *E. coli*, se generan una gran cantidad de placas recombinantes. Las distintas placas corresponden a clones de fagos diferenciados, cada uno de los cuales porta una inserción de DNA diferente, que en conjunto constituyen una biblioteca genómica lambda.



2.1.2.4 Selección de clones recombinantes

Sólo unas pocas células de todas las que han sufrido el proceso de transformación han tomado el plásmido recombinante, y el problema ahora es seleccionar aquellas que contienen el inserto de todas aquellas que han tomado el plásmido pero sin inserto¹³.

Una vez preparada una biblioteca genómica, o bien, una biblioteca de cDNA, se le puede estudiar para buscar los clones que contienen una secuencia determinada¹⁴.

Los clones recombinantes se pueden identificar, en primera instancia, utilizando la técnica de inactivación insercional. Para analizar una genoteca completo para la presencia de un gen, deben ser investigadas miles de colonias de bacterias en placas con antibióticos por la técnica de la siembra de réplicas en placa (Byong, 2000).

2.1.2.5 Aislamiento de clones recombinantes que contienen el gen de interés

Para asegurarse de que hemos obtenido el clon adecuado debemos realizar ensayos adicionales. El método más común requiere la búsqueda en una biblioteca mediante hibridación con sondas de DNA o RNA con marca radiactiva. En un método alternativo, un clon específico se identifica sobre la base de alguna propiedad de la proteína codificada.

Algunos de los métodos más comunes de identificación del clon deseado (hibridación de ácidos nucleicos y detección de nuevas proteínas codificadas) se describen a continuación.

- **HIBRIDACIÓN DE ÁCIDOS NUCLEICOS**

Para aplicar estos métodos se requiere que una vez identificado y aislado¹⁵ de otros clones el clon de DNA o de cDNA particular buscado, se lo separa del DNA del vector y se lo analiza. Esta separación se logra mediante la escisión del vector recombinante con la misma enzima de restricción utilizada para insertar el fragmento de DNA en un principio (Lodish *et al.*, 2002).

El tratamiento posterior con la misma enzima de restricción cortará el vector recombinante en los mismos sitios, para liberar el vector y el DNA clonado, que luego se puede separar mediante electroforesis en gel¹⁶.

¹³ En los métodos que se han descrito, las enzimas de restricción cortan por separado tanto el vector como el DNA foráneo. Después se mezclan los dos en presencia de ligasa. Se forman muchos productos que generalmente se pueden agrupar según tres categorías: vectores con el DNA foráneo apropiado; vectores con DNA foráneo no apropiado y "basura" que incluye vectores no cortados y fragmentos de vectores (Tamarin, 1996).

¹⁴ Cuando se generan fragmentos de DNA al azar se debe localizar un gen específico. Podemos buscar el gen tanto antes como después de clonarlo. En la metodología descrita, se considerará el sondeo del gen una vez clonado.

¹⁵ Una vez que se han seleccionado clones por inactivación insercional

¹⁶ Técnica bioquímica para la separación de mezclas de moléculas de acuerdo a su tamaño molecular, basada en la migración de dichas moléculas sobre un gel sometido a un campo eléctrico (Lodish *et al.*, 2002).

La hibridación de colonias *in situ* (Fig. 6) es una técnica poderosa para identificar, de entre miles de colonias bacterianas, alguna que contenga secuencias de DNA o RNA homólogas. Para ello se requiere de un fragmento de DNA o mRNA marcado radiactivamente que se le denomina sonda¹⁷. La secuencia de la sonda es complementaria a una porción de la secuencia de DNA del fragmento de interés. La identificación de clones específicos mediante técnicas de hibridación depende de la capacidad para preparar sondas específicas con marca radiactiva (³²P).

El uso de una sonda degenerada, o sea, una mezcla de todas las posibles secuencias de DNA capaces de codificar la secuencia específica de aminoácidos, asegura que la sonda con marca radiactiva contiene la única secuencia exactamente complementaria del gen buscado.

a) Transferencia de Southern blotting

Esta técnica permite identificar fragmentos de restricción específicos de DNA por electroforesis mediante hibridación con una sonda de ácidos nucleicos marcados (Lodish *et al.*, 2002).

Los fragmentos de restricción presentes en el gel se desnaturalizan con un álcali y se transfieren por blotting a un filtro de nitrocelulosa o una membrana de nylon. Este procedimiento mantiene la distribución de los fragmentos en el gel y crea una réplica del gel sobre el filtro¹⁸. Luego se incubaba el filtro bajo condiciones de hibridación con una sonda de DNA con marca radiactiva. El fragmento de restricción complementario con la sonda se hibrida, y se revela la localización sobre el filtro mediante autorradiografía.

b) Transferencia de Northern blotting

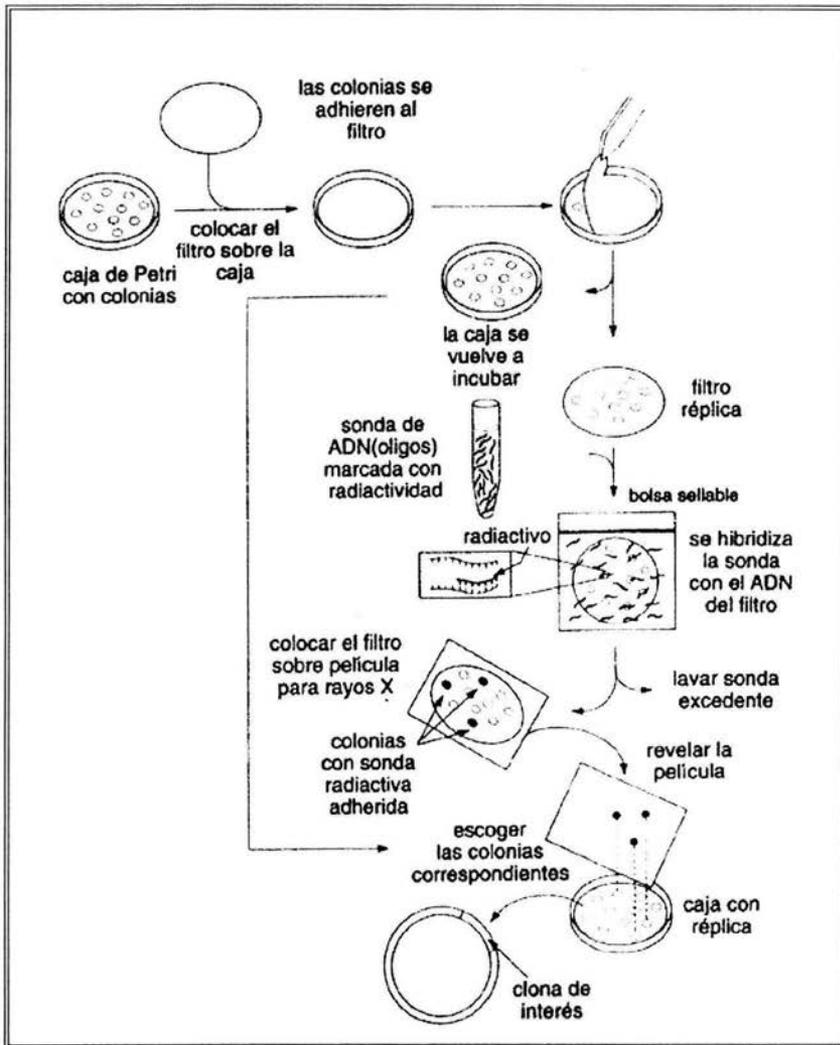
Esta técnica es muy similar a la transferencia de Southern blotting y se utiliza para detectar RNA específicos separados mediante electroforesis por hibridación con una sonda de DNA con marcaje radiactivo (Lodish *et al.*, 2002).

¹⁷ Una sonda es la secuencia de nucleótidos de un gen específico (fragmentos de DNA o mRNA), que servirá como molde para identificar dicho gen ya que tienen la capacidad de hibridar con la secuencia o gen deseado (Grace, 1998).

¹⁸ Se usa papel filtro porque las sondas no se difunden con facilidad en el gel original.



Figura 6: Hibridación de ácidos nucleicos de colonias *in situ*



Fuente: Soberón (1996)

¹⁹ Se usa papel filtro porque las sondas no se difunden con facilidad en el gel original.



- **DETECCIÓN DE PROTEÍNAS CODIFICADAS**

- a) *Western blotting o método de detección inmunológica*

Es una técnica para la detección de proteínas específicas separadas por electroforesis en gel mediante la aplicación de anticuerpos marcados (Lodish *et al.*, 2002). La biblioteca genómica que requerimos utilizar para hacer una "inmunobúsqueda", tiene que ser una biblioteca de expresión, es decir, una en la que la donación de los genes se realice de tal manera que haya señales propias de la célula recipiente (normalmente *E. coli*), que induzcan la transcripción y la traducción del segmento de DNA clonado.

2.1.2.6 Maximizar la expresión genética

Incluso cuando se ha conseguido expresar la proteína derivada de un único gen, la eficiencia de esta expresión puede ser bastante baja. Sin embargo, el objetivo es obtener un gran nivel de expresión en la célula hospedadora. Si se trata de obtener productos no proteicos resultantes de una ruta metabólica la situación puede ser mucho más complicada. En ciertos casos, se ha demostrado que tales productos son tóxicos para las células hospedadoras (Byong, 2000).

Entre los factores más importantes a tener en cuenta para maximizar la expresión genética se encuentran los siguientes:

- El número de moléculas de plásmido (copias) por célula hospedadora.
- Fuerza del promotor²⁰.
- La secuencia del sitio de unión a ribosomas²¹ (RBS).
- DNA adyacente
- La elección de codones²² en el gen clonado.
- La estabilidad genética del recombinante
- La proteólisis

²⁰ Secuencia de DNA que determina el sitio de iniciación de la transcripción de la DNA polimerasa (Lodish *et al.*, 2002).

²¹ El ribosoma es un complejo de gran tamaño que comprende varias moléculas diferentes de rRNA y más de 50 proteínas, organizadas en una subunidad mayor y otra menor, es el sitio de síntesis de proteínas (Lodish *et al.*, 2002).

²² Un codón es la secuencia de tres nucleótidos en el DNA o el mRNA que especifica un aminoácido particular durante la síntesis de proteínas; también se denomina triplete. De los 64 codones posibles, tres son de detención, que no especifican aminoácidos (Lodish *et al.*, 2002).



2.2 Obtención de organismos transgénicos

Una de las principales aplicaciones de la Ingeniería Genética y las técnicas de DNA recombinante que se han revisado hasta el momento, es la obtención de organismos transgénicos que se diseñan con la finalidad de obtener organismos con una característica novedosa.

Un organismo transgénico es un organismo genéticamente modificado (OGM), es decir, es aquel ser vivo obtenido al introducir en una especie biológica, de forma estable y heredable, un gen heterólogo mediante técnicas de DNA recombinante (Bartolomé, 2001). En otras palabras, es un organismo al que artificialmente se le han introducido genes exógenos (Soberón, 1996).

El gen foráneo puede ser de una especie diferente a la receptora o puede ser de la misma especie, sin embargo, el organismo transgénico tendrá una combinación de genes que antes no existía en la naturaleza.

Los métodos utilizados para obtener los distintos organismos transgénicos serán específicos de cada tipo de ser vivo (bacterias, levaduras, plantas o animales), independientemente del fin buscado en la transgenia. A continuación se describen algunos métodos de Ingeniería Genética para la obtención de organismos transgénicos eucariotas:

2.2.1 Obtención de levaduras transgénicas

Para estudiar cómo se utiliza la Ingeniería Genética para obtener levaduras transgénicas, puede tomarse como ejemplo la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, por ser éste el organismo más estudiado entre las levaduras, y ser el que cuenta, actualmente, con más posibilidades para ser modificado. Al trabajar con levaduras, se tiene la ventaja de que en su biología se ha encontrado la existencia de plásmidos naturales, los cuales sirven para construir vectores plasmídicos que se pueden utilizar en los procesos de incorporación de nuevos genes en estos organismos.

Así, en el caso de *Saccharomyces cerevisiae*, se ha aislado un plásmido natural circular de 6,3 kb de 2 μ m de circunferencia, que se conoce como el plásmido "círculo de 2 micrómetros" y que constituye la base para la construcción de distintos vectores de clonaje (Bartolomé, 2001).



En primer lugar, se elige uno de esos vectores y en él se clona y prepara la construcción genética²³ adecuada a introducir en la levadura. Esta construcción debe estar organizada para que el gen foráneo, que puede ser de organismos pertenecientes a otro reino biológico, se exprese en *Saccharomyces cerevisiae*, por tanto, habrá que rodear al gen del entorno genético adecuado (secuencias promotoras de levaduras, secuencias terminadoras de levaduras, secuencias activadoras de levaduras, etc.). A continuación se introduce el vector, mediante transformación, al interior de la levadura. El proceso de transformación se lleva a cabo al incubar las levaduras en presencia del vector, en un medio líquido que lleve sales de litio, tratamiento posterior con una solución de PEG 4000 (polietileno-glicol) que favorece la penetración del DNA, y un choque térmico para facilitar la entrada (Bartolomé, 2001). Como el proceso de transformación tiene una baja eficiencia, habrá que seleccionar aquellas levaduras que hayan tomado el vector. Para ello se utiliza un gen marcador presente en el mismo, que permitirá que sólo se reproduzcan en un medio selectivo de incubación (por ejemplo, medio sin leucina). Según el tipo de vector utilizado en el proceso, el gen marcador y con él, el gen heterólogo a introducir, podrán llevar una vida autónoma, independiente del cromosoma de la levadura, o podrán insertarse en el cromosoma por un proceso de recombinación homóloga. En aquellos casos en que el vector de clonaje lleve el segmento de DNA del plásmido 2 μm , que determina la replicación autónoma del mismo, el vector podrá subsistir extracromosómicamente, en caso contrario, se integrará en el cromosoma (vectores de integración). Algunos vectores utilizados son quimeras mixtas, que llevan DNA de plásmidos bacterianos de *E. coli* y DNA de plásmido 2 μm . Estos vectores, son los denominados vectores lanzadera ("shuttle vectors"), podrán, por tanto, ser biológicamente viables y utilizados tanto en *E. coli* como en *Saccharomyces cerevisiae*. En este caso la preparación de la construcción genética se realiza en *E. coli* y después se introduce el vector, una vez preparado, en la cepa de *Saccharomyces cerevisiae* a transformar. Otros vectores pueden llevar en vez del origen de replicación del plásmido 2 μm , un fragmento de DNA que determine un origen de replicación cromosómico de *Saccharomyces cerevisiae* (ARS: *Autonomously replicating sequence*). Estos vectores no son eficientemente segregados entre las células hijas en el proceso de la mitosis, pudiéndose perder en algunos casos sino se mantiene el medio selectivo. La estabilización de estos vectores ARS se puede lograr por la adición de un centrómero o secuencia CEN²⁴. Una variación de los vectores CEN es el cromosoma artificial de levaduras (YAC: *yeast artificial chromosome*).

²³ Se refiere a la ingeniería genética "fina": que consiste en el clonaje del gen, colocación de promotor adecuado, terminador adecuado, secuencias de regulación, etc. Se obtiene a partir del proceso de subclonación.

²⁴ Los centrómeros son secuencias de DNA del cromosoma que se necesitan para que se produzca una replicación estable y una segregación adecuada de los cromosomas en la mitosis y meiosis (Lodish *et al.*, 2002).



2.2.2 Obtención de plantas transgénicas

Los métodos para producir plantas transgénicas están sustentados en la naturaleza totipotente de las células somáticas vegetales y en el desarrollo de técnicas de regeneración de plantas a partir de cultivos de tejidos, células y protoplastos.

Cuando pequeños trozos de tejidos de plantas se colocan en medio sólido de cultivo estéril, las células proliferan formando un callo, si además en el medio se encuentran presentes, en proporciones adecuadas, las hormonas vegetales auxina y citoquinina²⁵, se desarrollará un brote. Éste se desarrolla a partir de células del callo que se dividen rápidamente. Asimismo, cuando a una célula vegetal se la aísla del tejido, se le puede inducir a que comience su división y a que todos sus genes se expresen en la correcta secuencia temporal para producir un organismo completo. Esta capacidad es a lo que se denomina totipotencia y es fundamental en los métodos desarrollados para producir plantas transgénicas. En ciertas ocasiones, para determinadas especies vegetales, será precisamente la falta de un método de regeneración de la planta entera a partir de una sola célula lo que limitará la posibilidad de obtener una planta transgénica.

Los métodos desarrollados para obtener una célula vegetal transformada se pueden dividir en 2 grupos principales (Fig. 7):

a) Métodos de transferencia de DNA mediante vectores.

Hablando de células vegetales, hasta la fecha, no se han podido obtener eficientes vectores víricos para transferirles genes. El único método a incluir en este grupo es el método que primero y más ampliamente se ha utilizado: método basado en el uso de vectores plasmídicos derivados del plásmido Ti (inductor de tumores "tumor induction") de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*.

b) Métodos de transferencia directa de DNA.

Entre éstos encontramos la biobalística, la transformación de protoplastos por métodos químicos y/o eléctricos o fusión con liposomas, y la microinyección de DNA directamente a la célula.

Antes de explicar los métodos anteriormente mencionado sería importante mencionar que una vez que se ha aislado y clonado (amplificado en un vector bacteriano) un gen, debe ser sometido a varias modificaciones antes de que pueda ser efectivamente insertado en una planta, llevándose a cabo el proceso de subclonación correspondiente.

²⁵ La auxina y la citoquinina son hormonas vegetales.



Es preciso agregar una secuencia promotora para que el gen sea expresado correctamente (es decir, traducido como un producto proteínico). Hasta la fecha, la mayoría de los promotores en las variedades transgénicas han sido "constitutivos", es decir, que causan la expresión del gen durante todo el ciclo biológico de la planta en la mayoría de los tejidos. El promotor constitutivo usado más comúnmente es CaMV35S, proveniente del virus del mosaico de la coliflor, que generalmente produce un alto grado de expresión en las plantas (Byrne *et al.*, 2003) Otros promotores son más específicos y responden a señales indicadoras en el medio interno o externo de la planta. Un ejemplo de un promotor inducible por la luz es el promotor del gen "cab", que codifica la principal proteína fijadora de clorofilas a y b.

A veces, el gen clonado es modificado para lograr una mayor expresión en una planta. Por ejemplo, el gen *Bt* para la resistencia a los insectos es de origen bacteriano y tiene un porcentaje más elevado de pares de nucleótidos A-T, en comparación con las plantas, que prefieren los pares de nucleótidos G-C. En una modificación inteligente, los investigadores sustituyeron los nucleótidos A-T con nucleótidos G-C en el gen *Bt*, sin modificar considerablemente la secuencia de aminoácidos. El resultado fue una mayor producción del producto génico en las células de la planta (Byrne *et al.*, 2003).

La secuencia de terminación indica a la maquinaria celular que se ha alcanzado el final de la secuencia génica.

Se agrega un gen marcador seleccionable al constructo génico con el fin de identificar las células o tejidos de la planta que han integrado con éxito el transgen. Esto es necesario porque rara vez se produce la incorporación y expresión de transgenes en células de plantas, que se logran en apenas un pequeño porcentaje de los tejidos o células beneficiarios. Los genes marcadores seleccionables codifican proteínas que proporcionan resistencia a agentes normalmente tóxicos para las plantas, como los antibióticos o herbicidas. En cuanto a otros genes insertados, los genes marcadores también requieren secuencias promotoras y de terminación para funcionar en forma apropiada.



Tabla 4: Métodos de transferencia de DNA en células vegetales:

| MÉTODOS | COMENTARIOS |
|--|---|
| 1) Transferencia mediante el plásmido Ti de <i>Agrobacterium</i> | Método excelente y de alta eficiencia que está indicado principalmente para plantas dicotiledóneas. |
| 2) Biobalística (Bombardeo con microproyectiles) | Usado en un amplio rango de plantas y tejidos. Sencillo y barato pero poco eficiente en la obtención de integraciones estables. |
| 3) Vectores víricos | Actualmente no es un método efectivo para introducir DNA en plantas. |
| 4) Transferencia directa del gen a protoplastos vegetales por electroporación y fusión con liposomas | Sólo es posible utilizarlo en aquellas plantas que se puedan regenerar a partir de protoplastos. |
| 5) Microinyección | Tiene una utilidad limitada ya que sólo se puede inyectar una célula en cada experimento. Requiere la intervención de personal altamente especializado. |

Fuente: Bartolomé (2001)

2.2.2.1 Transferencia de DNA basado en vectores derivados del plásmido Ti

La bacteria gram-negativa del suelo *A. tumefaciens* es un fitopatógeno oportunista que puede infectar más de 330 géneros de plantas dicotiledóneas²⁶. Cuando esta bacteria infecta a través de una herida o incisión, generalmente en el tallo en un lugar próximo al suelo, tal infección distorsiona el proceso normal de reparación de la herida. Así, en vez de formar un callo que cubra la herida, las

²⁶ Las dicotiledóneas son angiospermas o plantas con flor que se caracterizan por tener en sus semillas dos cotiledones, además de que tienen órganos florales (sépalos, pétalos, estambres y pistilos) en múltiplos de cuatro o cinco (Lodish *et al.*, 2002).



células de la zona proliferan hasta formar un tumor²⁷. Este tumor se origina como consecuencia de la transferencia de genes de la bacteria a la planta. Estos genes, algunos de los cuales sintetizan enzimas para la biosíntesis de hormonas vegetales (como las opinas²⁸), quedarán establemente integrados en el cromosoma de la célula vegetal y, por tanto, heredadas por todas las células descendientes de ésta.

El DNA de una célula de *A. tumefaciens* está contenido en el cromosoma bacteriano y en otra estructura llamada plásmido Ti (inductor de tumores). El plásmido Ti contiene:

- Un segmento de DNA llamado DNA-T (-20 kb de largo) que es transferido a la célula de la planta en el proceso de la infección.
- Una serie de genes vir (de la virulencia) que dirigen el proceso de la infección.

El DNA-T entra entonces en la célula de la planta a través de la lesión. No está claro cómo el DNA bacteriano se traslada desde el citoplasma al núcleo de la célula de la planta, ni cómo el DNA-T se integra en el cromosoma de la planta. Una hipótesis es que el DNA-T espera hasta que el DNA de la planta está siendo replicado o transcrito y entonces se inserta en el DNA expuesto de la planta (Galun y Breiman, 1997; citado en Byrne *et al.*, 2003).

Este es un fenómeno de transgénesis natural, similar a la transgénesis artificial, y es aprovechado para la obtención de plantas transgénicas:

Para utilizar *A. tumefaciens* como vector del transgen, los científicos han eliminado la sección de DNA-T inductora de tumores y han conservado las regiones fronterizas del DNA-T y los genes vir. El transgen es insertado entre las regiones fronterizas del DNA-T, desde donde es transferido a la célula de la planta para integrarse en los cromosomas de ésta (Wong, 1997; citado en Byrne *et al.*, 2003). Este proceso de transgénesis es conocido como "sistema binario": el plásmido Ti de *A. Tumefaciens*, muy grande y poco manejable, se divide en 2 plásmidos menores (uno de ellos al que le falta el T-DNA y lleva los genes vir (plásmido "desarmado"), siendo el otro el verdadero vector para clonar el gen foráneo, y que lleva los extremos del fragmento T-DNA que son imprescindibles para que funcione el sistema y exista transferencia (plásmido Mini-T)).

²⁷ Grupo de células que ha perdido su función habitual y que se reproducen de una forma desmedida y desregulada (Lodish *et al.*, 2002).

²⁸ Las opinas son unas moléculas particulares e inusuales que sintetizará, a partir de ahora, la célula vegetal transformada y sus descendientes, en el interior del tumor, para luego secretarlas (Lodish *et al.*, 2002).



Este método es el que más se ha utilizado y con el que más variedades distintas de plantas se han podido transformar (Bartolomé, 2002), entre las cuales podemos señalar verduras (lechuga, espárrago, remolacha, rábano, pepino, zanahoria, brócoli), plantas con interés en floricultura (clavel, petunia, crisantemo), frutas (chabacano, ciruela, cítricos, manzana, durazno, kiwi, fresa, frambuesa, melón), legumbres (soya), cereales (arroz, maíz, trigo sarraceno) y especias (hinojo, mostaza, apio).

2.2.2.2 Transferencia directa de DNA

Como el método derivado del plásmido Ti funciona muy bien con plantas dicotiledóneas (legumbres), pero no así con monocotiledóneas -donde se encuentran plantas tan importantes para la alimentación humana y animal como los cereales (arroz, trigo, maíz, centeno)- se desarrollaron métodos alternativos, esencialmente artificiales, que no presentan restricciones biológicas que limiten su uso a determinadas especies vegetales²⁹.

- *Biobalística*

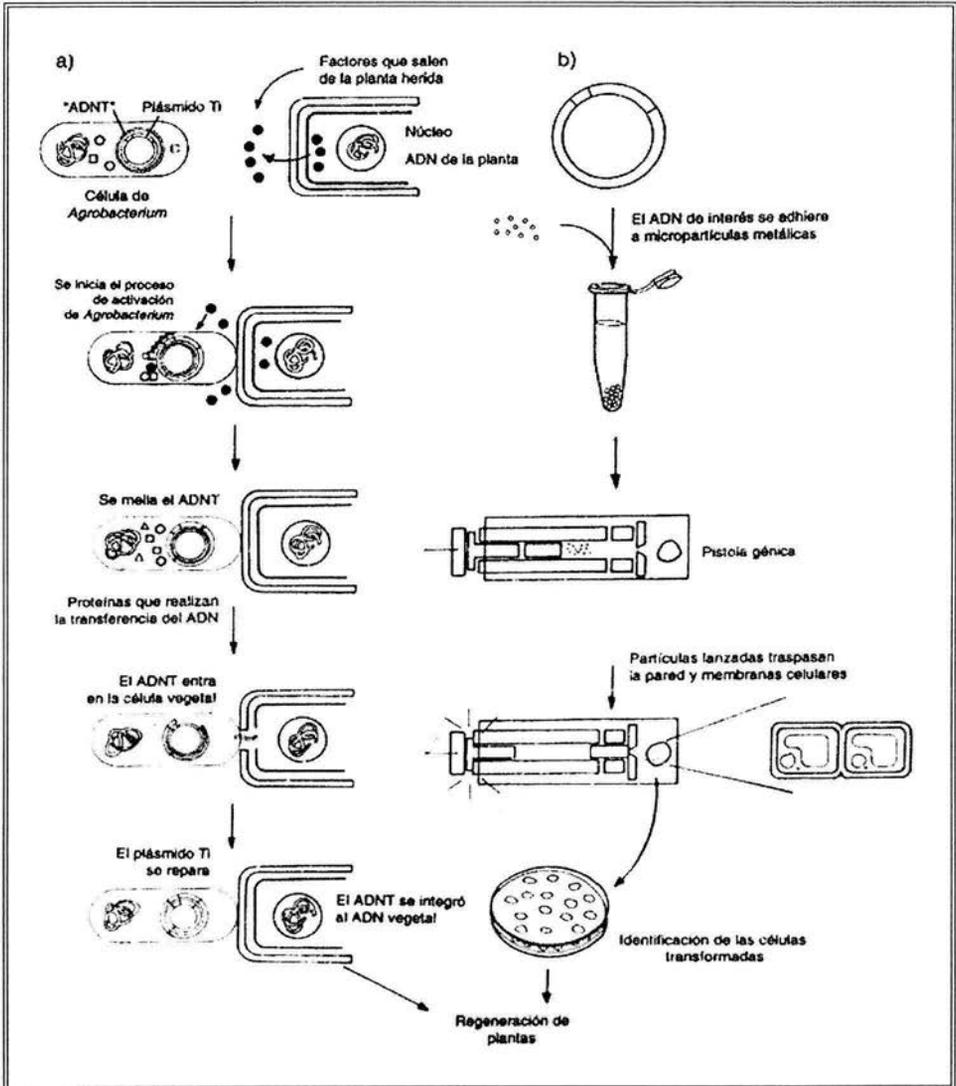
Este método es, quizás, el más versátil para introducir el DNA a las células vegetales (Bartolomé, 2001). En este método el DNA a transferir en forma lineal o más frecuentemente incorporado en un vector de clonaje (gen heterólogo + gen marcador de selección), se precipita sobre unas pequeñas partículas o microproyectiles de tungsteno u oro (1-4 μm de diámetro), de forma que las recubre totalmente. A continuación las partículas se disparan sobre el tejido vegetal, con una pistola de pólvora (inicialmente era así), gas comprimido (helio) o descarga eléctrica, a unas velocidades suficientes para penetrar en el interior de la célula atravesando la pared. El material sobre el que se dispara pueden ser protoplastos, tejidos del meristema vegetal (zona de crecimiento de la planta), embriones vegetales o tejidos diferenciados (como trozos de hojas). A continuación habrá que seleccionar la célula transformada en medio selectivo.

Con este método se han transformado distintas variedades de cereales y gimnospermas. Entre las plantas transformadas se pueden señalar el álamo, arándano, caña de azúcar, maíz, papaya, soja, tabaco y trigo.

²⁹ No ha sido hasta hace poco -año 1996- que se ha conseguido obtener plantas transgénicas monocotiledóneas (arroz, maíz) con vectores Ti, lo que ha llevado a pensar que la incapacidad de lograrlo anteriormente, radicaba más en la dificultad de cultivar células de monocotiledóneas y, por tanto, de seleccionar células transformadas de monocotiledóneas, que en la incompatibilidad biológica del sistema.



Figura 7: Obtención de plantas transgénicas



Fuente: Soberón (1996)

³⁰ El liposoma es una vesícula artificial creada por una bicapa de fosfolípidos, similar a la membrana plasmática (Lodish *et al.*, 2002).



- *Uso de protoplastos (electroporación, liposomas).*

Las células vegetales cuentan con una pared vegetal constituida por polímero de carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) que rodean la membrana plasmática y que dificultan enormemente la entrada de DNA sin la colaboración de vectores biológicos (plásmidos o virus). Por tanto, para facilitar dicha entrada se preparan células vegetales a las que por tratamiento enzimático (celulasa y pectinasa) se las ha desprovisto de su pared, obteniéndose células vegetales solo con membrana plasmática, que se denominan protoplastos. Los protoplastos, una vez transformados, podrán reconstruir la pared y en condiciones adecuadas de cultivo regenerar una planta entera. La entrada del DNA al interior del protoplasto se consigue colocando el protoplasto en presencia del DNA a introducir (gen heterólogo + gen marcador en forma lineal; vector Ti o vector bacteriano con gen heterólogo + gen marcador) en un medio con PEG o polivinil-alcohol o calcio y con un alto pH, estas condiciones favorecen la entrada del DNA.

También la alta temperatura y descargas eléctricas (electroporación) favorecen considerablemente el proceso. En ocasiones se logra introducir el DNA mediante la fusión de un protoplasto con un liposoma³¹ que lleva encapsulado en su interior el DNA heterólogo, al poner ambas entidades en un medio con PEG, compuesto que favorece la fusión.

Es un método poco usado y de baja eficiencia (Bartolomé, 2001), pero con él se han conseguido transformar protoplastos de arroz, canola, cítricos, fresa, maíz, tabaco y soja.

- *Microinyección.*

En este método se microinyecta el DNA, mediante un capilar de vidrio, al interior de la célula. Si la microinyección es en el núcleo, la eficiencia de transformación es más alta que si se hace en el citoplasma (igual ocurre en células animales). Parece que la transferencia del DNA del citoplasma al núcleo supone una barrera en el proceso de transformación. En este caso el uso de un gen marcador para llevar a cabo la selección de la célula transformada, no es esencial. Este método sólo se puede utilizar con células para las cuales se tengan desarrolladas eficientes métodos de cultivo. Se han conseguido transformar células de canola y arroz.

³¹ El liposoma es una vesícula artificial creada por una bicapa de fosfolípidos, similar a la membrana plasmática (Lodish *et al.*, 2002).



2.2.3 Obtención de animales transgénicos

Existen 4 formas básicas de obtener animales transgénicos:

a) Introducción del gen foráneo utilizando vectores derivados de retrovirus naturales que infecten *in vitro* las células del embrión en estado de mórula³², y posterior implantación del embrión transfectado en una hembra biológicamente receptiva (nodriza). Como este método, debido al origen de los vectores usados (virus de células eucariotas), puede dar problemas, y como existen otros métodos alternativos, no se suele utilizar para obtener transgénicos con fines comerciales.

b) Microinyección del gen foráneo, en presentación lineal, en el pronúcleo masculino (núcleo del espermatozoide) de un huevo fertilizado y posterior implantación de los huevos transfectados en una hembra nodriza³³.

c) Introducción, por transfección, del gen foráneo en células troncales totipotentes del blastocisto (embrioblastos, blastómeros) en cultivo, posterior introducción de las células transfectadas en un blastocisto receptor y finalmente implantación en el útero de una hembra nodriza.

d) Introducción, por transfección con liposomas, del gen heterólogo en células fetales (por ejemplo, fibroblastos) y posterior transferencia del núcleo de las células transfectadas a oocitos desnucleados (oocitos sin núcleo)³⁴.

³² La blástula es el estado embrionario que se produce como resultado de la segmentación del óvulo fecundado, el cual se divide mediante mitosis sucesivas, dando lugar a unas células denominadas blastómeros. Un conjunto de blastómeros que se produce a partir del huevo es la mórula. En ella, los blastómeros emigran hacia la periferia, por lo que se forma una cavidad central, el blastocele, que está rodeada por una sola capa de blastómeros iguales, el blastodermo (Lodish *et al.*, 2002).

³³ En los mamíferos después de que entra el espermatozoide al óvulo, en la fertilización, tanto el núcleo del óvulo como el del espermatozoide (pronúcleo masculino) permanecen separados. Sólo después de que el núcleo femenino ha completado la meiosis, y llega al estado de pronúcleo femenino, se produce la fusión de núcleos o cariogamia (Lodish *et al.*, 2002).

³⁴ El oocito es una célula huevo en desarrollo (Lodish *et al.*, 2002). La introducción de un núcleo al oocito desnucleado, es la técnica que se utilizó para obtener a "Dolly"



3. ALIMENTOS TRANSGÉNICOS: APLICACIÓN DE ORGANISMOS TRANSGÉNICOS EN LA ALIMENTACIÓN

Las potencialidades que esta nueva tecnología tiene de modificar los organismos vivos se está aplicando o está en desarrollo su aplicación, en muchos ámbitos de las actividades del hombre, dentro de las cuales destaca el campo de la alimentación.

Se conocen como alimentos transgénicos a los alimentos e ingredientes alimentarios que son y/o están compuestos de organismos transgénicos (Bartolomé, 2001). Alimentos transgénicos son:

(A) Los organismos que se pueden utilizar como alimento y que han sido sometidos a ingeniería genética (por ejemplo, plantas manipuladas genéticamente que se cosechan).

(B) Alimentos que contienen un ingrediente o aditivo derivado de un organismo sometido a ingeniería genética.

(C) Alimentos que se han producido utilizando un producto auxiliar para el procesamiento (por ejemplo, enzimas) creado por medio de la ingeniería genética.

Según la fuente a partir de la cual han sido obtenidos los alimentos transgénicos, se pueden tener los productos que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 5: Alimentos, ingredientes alimentarios y adyuvantes de procesado derivados de organismos genéticamente modificados:

Microorganismos

Producción de alimentos y bebidas fermentadas por cultivos iniciadores modificados genéticamente.

Aplicación de la mayor vida útil y uso como agentes de control biológico por cepas modificadas genéticamente.

Consumo directo de cepas modificadas o sus componentes derivados como alimentos.

Uso de metabolitos de microorganismos modificados como ingredientes alimentarios o adyuvantes de proceso.



Vegetales

Productos procedentes de organismos del DNA recombinante

Productos procedentes de cultivos de tejidos por variación somaclonal/gametoclonal

Productos procedentes de cultivos celulares vegetales en biorreactores

Animales

Uso de sustancias modificadas genéticamente administradas a los animales y usadas en los alimentos derivados de este animal.

Uso como alimento de animales transgénicos desarrollados por ingeniería genética.

Fuente: Byong (2000)

De acuerdo a la característica novedosa generada en el alimento transgénico y al beneficiario del producto, se han identificado tres generaciones u olas de alimentos transgénicos:

PRIMERA OLA

- Cultivos que se comercializan actualmente en el mercado. Están enfocados al mejoramiento cualitativo de las características genéticas inherentes de los propios organismos que han sido modificados.
- Beneficios: Alto incremento en los rendimientos, reducción de costos agrícolas, incrementos de beneficios para el agricultor, mejora del ambiente.
- Beneficiario: el productor.

SEGUNDA OLA (ALIMENTOS FUNCIONALES)

- Etapa de investigación avanzada. Están enfocados al mejoramiento de los organismos para el consumo específico del ganado o el hombre. Se refiere a la modificación de caracteres posteriores a la cosecha.
- Beneficios: Mejoramiento de características relacionadas con la calidad de los alimentos como jitomates de almacenamiento prolongado, aceites más sanos, mayor cantidad de proteínas y adición de nuevas vitaminas.
- Beneficiario: el consumidor.



TERCERA OLA (ALIMENTOS NUTRACÉUTICOS)

- Etapa de investigación temprana. Están enfocados a la producción de sustancias o diversos materiales para fines médicos o industriales. Incluye plantas y animales modificados para producir drogas, vacunas y plásticos.
- Beneficios: Utilización de cultivos como biofábricas.
- Beneficiario: el consumidor.

A continuación se describirán los principales organismos modificados genéticamente utilizados para la producción de alimentos:

3.1 Microorganismos transgénicos aplicados en la alimentación

A la fecha, el uso de microorganismos recombinantes en la producción de alimentos ha estado limitado a la producción de enzimas recombinantes y una hormona recombinante de crecimiento para lograr un incremento en la producción de la leche (hormona de crecimiento bovino).

3.1.1 La quimosina recombinante

El queso se elabora por el agregado de leche a un cultivo de bacterias lácticas, que acidifican la leche. Además se adicionan enzimas que coagulan la leche lo que resulta en un gel de proteínas coaguladas que atrapa la grasa y otras proteínas. De estas proteínas la quimosina es la de mayor importancia. Esta enzima se obtiene tradicionalmente del estómago de los terneros, lo que implica un problema para su obtención. En la actualidad existen comercialmente quimosinas recombinantes producida por en distintos organismos (por ejemplo en el hongo filamentoso *Aspergillus niger*) que tiene en su material genético una copia del gen de la quimosina bovina. También se producen otras quimosinas recombinantes con la levadura *Kluyveromyces lactis* y con *E. coli*.

La quimosina recombinante fue el primer ingrediente alimenticio derivado de la Biotecnología reconocido como inocuo por la FDA (Byong, 2000). Actualmente es muy empleada en Estados Unidos y Europa, especialmente en Gran Bretaña (90% de los quesos duros).



3.1.2 Hormona de crecimiento bovino o somatotropina bovina recombinante (rBST)

La somatotropina bovina (BST) es una hormona implicada en la mejora del crecimiento y de la producción de leche. Si se administra a vacas lecheras incrementa la producción de leche en un 10-25% (Scragg, 2001). En condiciones normales la BST es demasiado cara para utilizarla en la industria lechera, pero el gen se ha clonado y expresado en *E. coli* y se ha producido en grandes cantidades. La BST producida mediante ingeniería genética también aumenta la producción de la leche en un 10-25% (Scragg, 2001).

Fue aprobada por la FDA en 1994 para Monsanto con el nombre de Prosilac, pero no en la Unión Europea. De hecho, en la actualidad, no es usada legalmente en Europa, Canadá y algunos otros países.

La BST presenta algunos inconvenientes. La producción adicional de leche requiere un incremento en la cantidad de pienso y se han observado otros efectos adversos en las vacas como mastitis, menor frecuencia de embarazo y lesiones en las rodillas. Por otro lado, creen en la posibilidad de un riesgo a la salud humana relacionado con la leche producida con BST, que es el cáncer. La FDA afirma que no hay diferencia entre la leche BST y la leche (Scragg, 2001).

3.1.3 Mejora genética en la levadura panadera

1) *Cepa más eficiente en la planificación.* Para producir pan basta con añadir a la harina de trigo o centeno proteasas, amilasas, y la levadura panadera. La levadura panadera consume primero la sacarosa y, después, la glucosa y la fructosa, para, finalmente, asimilar la maltosa. Lo idóneo sería que consumiera desde el principio la maltosa, ya que éste es el azúcar mayoritario. En realidad, cuanto más rápido consume una levadura panadera la maltosa antes se produce el pan. Para consumir la maltosa la levadura precisa dos enzimas: una maltosa permeasa que toma la maltosa de la harina y la introduce dentro de la célula, y una maltasa que la escinde (Bartolomé, 2001).

Cuando la levadura tiene un azúcar más sencillo del que alimentarse, como, por ejemplo, la glucosa, la síntesis de estas dos enzimas está reprimida. Los científicos de la compañía holandesa Gist-Brocades construyeron una levadura panadera que consume la maltosa desde el principio de la fermentación panaria. Para ello cambiaron los promotores de los genes que codifican la maltosa permeasa y la maltasa por otros promotores provenientes de genes que funcionaban con glucosa.



El resultado es un aumento de la capacidad fermentativa y de la producción de gas y, por lo tanto, una reducción del tiempo de fermentación. Esta levadura panadera recombinante, denominada levadura MAL, fue el primer fermento para alimentos que obtuvo el permiso de comercialización en Europa, concretamente en el Reino Unido (Bartolomé, 2001).

2) Proceso de panificación sin problemas de alergia ocupacional: Durante el proceso de panificación, a la masa panadera se le añade la enzima amilasa con la intención de favorecer la liberación de maltosa. Este aditivo se añade en forma de polvo que ataca las zonas húmedas de la piel y las mucosas de los profesionales del sector, produciendo irritaciones y procesos alérgicos. Es un problema de salud laboral frecuente, que puede dar lugar a bajas laborales permanentes.

Recientemente, un grupo de biotecnólogos del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en Valencia, ha construido una levadura panadera recombinante capaz de solventar este problema. Para ello, han tomado un gen de *Aspergillus oryzae* que codifica una α -amilasa y lo han introducido en el genoma de una levadura panadera industrial. La nueva levadura es capaz de secretar directamente la enzima a la harina, produciendo un pan con excelentes características organolépticas. De esta forma, se obvia la adición del enzima y, con ello, los problemas de salud laboral (Bartolomé, 2001).

3.1.4 Mejora genética en la levadura cervecera

1) Cepa que facilita la producción: El mosto de cerveza contiene unos polímeros lineales de glucosa denominados β -glucanos que provienen del grano de la cebada. Al final del proceso de fabricación se debe llevar a cabo una filtración industrial que, a menudo, se dificulta por problemas de colmatación producidos por los β -glucanos. Las pérdidas económicas que este proceso conlleva son numerosas. Se puede evitar añadiendo a los fermentadores una enzima denominada β -glucanasas que rompe estos polímeros. Esta enzima se obtiene a partir de hongos filamentosos y se comercializa en forma de preparados que suelen contener impurezas y presentan una composición variable entre los distintos lotes. La adición exógena del enzima es, por lo tanto, una solución relativa (Bartolomé, 2001).

Para llegar a una solución final un equipo de científicos finlandeses del Instituto VTT en Espoo y un equipo de biotecnólogos del IATA en Valencia, utilizando genes de una β -glucanasa de *Trichoderma reesei* o *Trichoderma longibrachiatum* respectivamente, han diseñado levaduras cerveceras capaces de secretar la β -glucanasa al mosto, sin ninguna otra enzima contaminante.



2) *Producción de cerveza "light"*: Los responsables del alto contenido calórico de la cerveza son una gran cantidad de dextrinas y almidón que están presentes en el mosto original y no son asimilados por la levadura cervecera. La tendencia actual en la alimentación es el consumo de productos con bajo contenido calórico, por lo que a los industriales cerveceros les interesa producir cervezas de esta características. Para ello, añaden a los tanques de fermentación una enzima denominada glucosamilasa, que rompe el almidón y las dextrinas, produciendo azúcares más sencillos, que son asimilados por la levadura cervecera. Como en el caso anterior, la adición de este enzima conlleva impurezas, variabilidad, posibles alergias ocupacionales y, por supuesto, inversión económica (Bartolomé, 2001).

Los biotecnólogos de la cervecera Bass, en el Reino Unido, han diseñado una levadura cervecera transgénica que porta un gen proveniente de la levadura *Saccharomyces diastaticus*, que codifica una glucoamilasa. Mediante su uso, se produce una cerveza indistinguible de la original, pero con bajo contenido calórico. De forma similar, y en el mismo país, los científicos de la compañía BRL International han añadido al genoma de una levadura cervecera un gen proveniente de un hongo filamentosos que codifica una glucoamilasa. En este último caso, ya se ha obtenido el permiso de comercialización por parte de las autoridades inglesas.

3.2 Plantas transgénicas en la alimentación

En el campo de la agricultura con fines de alimentación humana y/o animal, se han obtenido plantas transgénicas con distintos objetivos.

Como sabemos, la productividad de cualquier cosecha, así como la calidad de la misma, está muy condicionada por una serie de organismos vivos que conviven y compiten con ella (malas hierbas), y otros que la parasitan (virus, bacterias, hongos, nemátodos, insectos) que en algunas ocasiones se convierten en verdaderas plagas. Para superar estos problemas, se han desarrollado plantas transgénicas que presentan resistencia a dichos parásitos o que toleran ciertos herbicidas constituyendo estos 2 tipos de transgenia, en la actualidad, prácticamente el 99,9% de cultivos transgénicos comerciales.

Poniendo el punto de mira en las características de los frutos y semillas, se han obtenido desde plantas cuyos frutos maduran de forma controlada, hasta semillas con mayor calidad nutritiva (dietética).



Finalmente, para ampliar la superficie de terrenos cultivables, se han obtenido plantas que soportan temperaturas más bajas y plantas que crecen en suelos áridos o salinos, superando de esta forma las rigurosidades climatológicas y las condiciones edafológicas extremas de los suelos.

Las estrategias biológicas utilizadas para lograr los fenotipos adecuados con el uso de esta tecnología son principalmente cuatro (Bartolomé, 2001):

- **Aditivas:** El gen introducido codifica una nueva función. Tiene la limitación de que existen pocos genes individuales que logren mejoras por sí solos (resistencia a virus, a larvas de insectos, a ciertos herbicidas...)
- **Sustractivas:** El DNA introducido inhibe o bloquea a un gen de la planta.
- **RNA "antisentido" (antisense RNA):** En esta estrategia también se busca la reducción de la síntesis de una determinada proteína y, por tanto, la reducción de la actividad que ésta lleva a cabo. El efecto se logra al introducir en la planta el gen que codifica la proteína cuya síntesis se quiere inhibir pero de forma que se exprese en orientación invertida (en sentido contrario) a la normal. De esta forma, la transcripción del gen introducido origina un RNA mensajero que es complementario al RNA mensajero del gen diana. Ambos RNA mensajeros, al encontrarse en el mismo citoplasma, hibridan, con lo cual el RNA mensajero que codifica la proteína cuya síntesis se quiere inhibir queda capturado en este híbrido, y no puede ser traducido, bajando la síntesis de dicha proteína.
- **Interruptor a distancia ("transwitch"):** Consiste en introducir trozos del gen a bloquear, pero en su orientación normal, lo cual interfiere con el procesamiento del RNA del gen homólogo completo de la planta.

3.2.1 Plantas con resistencia a plagas

a) Plantas resistentes a microorganismos:

Los virus, bacterias y hongos son microorganismos que afectan gravemente la productividad de los cultivos agrícolas. Se han conseguido plantas transgénicas que muestran menos síntomas patológicos por acción de los virus, introduciendo, en el genoma de la planta, genes del propio virus agresor o, en ocasiones, de virus filogenéticamente próximos (protección cruzada). Parece ser que la expresión de la proteína vírica, en unos casos, y la simple presencia de RNA vírico en otros, consigue los efectos comentados. Los mejores resultados se han conseguido introduciendo el gen de la



proteína de cápside del virus, así se han logrado plantas tolerantes a virus, entre otras, de las siguientes especies: tabaco, tomate, alfalfa, patatas y arroz.

Muchas bacterias fitopatógenas producen toxinas que inhiben rutas del metabolismo primario de la planta causando la muerte celular y produciendo graves pérdidas en importantes cosechas. Se han obtenido plantas transgénicas que expresan unas proteínas de la familia de las defensinas o similares (cercopina B, sarcotoxina, etc.) que se han mostrado resistentes a infecciones por bacterias. Los genes que codifican estas proteínas, de pequeño tamaño, se encuentran en la naturaleza en el genoma tanto de insectos como de animales o vegetales.

En contraste con la situación de los virus, los hongos sí se pueden eliminar con productos químicos, pero esta estrategia puede ocasionar problemas ecológicos. Para proteger a las plantas del ataque de estos organismos la biotecnología potencia los mecanismos de defensa naturales. Así ocurre con la manipulación de la producción de las proteínas denominadas de respuesta a patógenos (proteínas PR: se activa su expresión por el ataque de microorganismos), capaces de afectar al organismo invasor o de activar rutas de transducción de señales responsables de iniciar mecanismos generales de defensa. Se ha logrado obtener plantas resistentes a hongos introduciendo genes de quitinasas y/o glucanasas -enzimas que degradan la pared de la célula del hongo- así como de otras toxinas vegetales (tioninas y osmotinas), todas ellas proteínas procedentes de células de otras plantas o también de bacterias (Bartolomé, 2001).

b) Plantas resistentes a insectos:

Las plantas pueden verse sometidas a plagas de insectos cuyas larvas son devastadoramente voraces. Todas las plantas presentan mecanismos de defensa, más o menos eficaces, contra los insectos por medio de compuestos propios de su metabolismo secundario.

Las dos estrategias más usadas para proteger a las plantas del ataque de insectos son: utilizar genes de bacterias que codifican toxinas para los insectos o utilizar genes de plantas que codifican inhibidores proteicos de enzimas digestivas de los insectos (proteasas y amilasas). Hoy en día se conocen más de 40 genes de plantas o bacterias que producen toxinas para insectos y algunos de ellos se han introducido en el genoma de plantas cultivadas de interés económico.

Como ejemplo de la primera estrategia vamos a señalar el uso de una toxina de la bacteria aerobia y esporuladora *Bacillus thuringiensis* (*Bt*). Hay docenas de cepas diferentes de dicha bacteria que afectan a grupos de insectos distintos. Todas ellas comparten la característica de que sus esporas contienen cristales de una proteína tóxica para insectos, la proteína parasporal o δ -endotoxina. La ventaja, para nuestros intereses, de estas toxinas de *Bacillus thuringiensis*, es que no son tóxicas



para mamíferos ni pájaros. Algunas de ellas son bastante específicas y se ha utilizado esta característica para clasificarlas, así la toxina *Cry I* es específica de lepidópteros, *Cry III* de coleópteros y *Cry IV* de dípteros (Tabla 6). En todos los casos la toxina cristalina es modificada en el intestino medio de la larva del insecto y de esta forma se transforma en tóxica. Esta proteína, así modificada, se une a las células del epitelio del intestino causando la lisis de dicha células, y destruyendo el epitelio intestinal (Bartolomé, 2001)

Tabla 6: Diferentes eventos de maíces Bt

| <i>Designación de los genes Cry</i> | <i>Tóxicos para estos órdenes de insectos</i> |
|-------------------------------------|---|
| CryIA(a), CryIA(b), CryIA(c) | Lepidóptera |
| Cry1B, Cry1C, Cry1D | Lepidóptera |
| CryII | Lepidóptera, Diptera |
| CryIII | Coleóptera |
| CryIV | Diptera |
| CryV | Lepidóptera, Coleóptera |

Fuente: Byrne et al., (2003)

Estas toxinas ya se utilizaban como bioinsecticidas, bien utilizando las esporas enteras o purificando la toxina a partir de ellas. Sin embargo, de esta forma, la acción de la toxina estaba limitada sólo a las superficies de las plantas y no al interior de los tejidos, que muchas ocasiones son atacados por los endoparásitos. Además, las condiciones climatológicas limitaban mucho su efecto. Esto llevó, en el año 1987, a tres compañías simultáneamente (Monsanto, Agracetus y Plant Genetic System) a crear plantas transgénicas (tomate, tabaco) que expresaban la protoxina o la toxina y eran resistentes a larvas de lepidópteros. Con esta estrategia se han obtenido distintas plantas transgénicas resistentes a insectos, entre ellas: algodón, maíz, arroz, patatas, soja, brócoli y canola. La estrategia resultó tan atractiva que para el año 1992 ya había un buen número de compañías trabajando en el tema, entre ellas: Abbot, Agracetus, Agrigenetics, Boehringer- Mannheim, Ciba-Geigy, DuPont, Ecogen, ICI, Mitsubishi, Monsanto, Mycogen, Plant Genetic System, Sandoz (Ciba-Geigy y Sandoz se fusionaron constituyendo Novartis) (Bartolomé, 2001).



Actualmente se están buscando promotores específicos de tejido, para conseguir una expresión localizada, sólo en aquellos tejidos que sean susceptibles de infección. Se está probando con promotores de floema (donde succionan los áfidos), promotores que se activan por aparición de heridas o promotores propios del polen.

En cuanto al uso de inhibidores de proteasas y α -amilasas, para obtener plantas transgénicas con resistencia a insectos, se han utilizado los genes del inhibidor de tripsina obtenida del guisante (*CpTI*), de los inhibidores I y II de proteasas obtenidos del tomate y del inhibidor I de proteasas de la patata, obteniéndose plantas de tabaco y arroz resistentes a sus plagas. Asimismo se ha usado el gen del inhibidor de α -amilasa de semillas de alubia (α AI), que inhibe la actividad α -amilasa de insectos y otros animales pero no la de las plantas, para obtener guisantes resistentes a insectos a los cuales eran sensibles (Bartolomé, 2001).

3.2.2 Plantas tolerantes a herbicidas

Aproximadamente un 10% de la producción agrícola global anual se pierde como consecuencia del crecimiento de malas hierbas en los cultivos, a pesar del enorme gasto (10 mil millones pesos) que se realiza en los más de 100 herbicidas químicos que se utilizan (Bartolomé, 2001). Pero, además del gasto, los herbicidas presentan otras limitaciones: muchos no discriminan las malas hierbas de la cosecha y otros hay que aplicarlos antes de que las malas hierbas aparezcan y mantienen su efecto durante largo tiempo. La obtención de plantas cultivadas tolerantes a herbicidas puede permitirnos superar algunos de estos problemas.

Hay varias maneras de manipular biológicamente a las plantas para convertirlas en tolerantes a herbicidas: a) inhibir la toma del herbicida, b) que la planta super produzca la proteína diana del herbicida (generalmente una enzima) para que, aun en presencia del mismo, haya moléculas de la proteína diana no afectadas por el herbicida y, por tanto, disponibles para llevar a cabo su acción, c) reducir la afinidad de la proteína diana por el herbicida, d) obtener plantas que degraden el herbicida. Las 3 últimas estrategias han sido utilizadas en transgénesis.

Se han obtenido plantas transgénicas tolerantes al herbicida glifosato utilizando la tercera estrategia. Se eligió el glifosato por ser un herbicida que presenta características adecuadas: amplio espectro de actuación (elimina 76 de las 78 peores malas hierbas conocidas); es degradado por microorganismos del suelo rápidamente, dando lugar a productos no tóxicos y además presenta una baja toxicidad para el hombre y su ganadería. Sin embargo, es precisamente su amplio espectro de actuación y,



por tanto, su efecto negativo sobre la biodiversidad, lo que está siendo criticado desde algunos sectores. Asimismo, en algunos círculos de investigadores se cuestiona su inocuidad y su carácter no tóxico. El glifosato es un inhibidor de la enzima 5-enolpiruvilsikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) que actúa en la síntesis de aminoácidos aromáticos, tanto en plantas como en bacterias. Se han utilizado alelos del gen que codifican la enzima EPSPS de cepas de *Salmonella typhimurium* y *E. coli* que resisten al glifosato, para introducirlos en plantas de tabaco, petunia, algodón, patata, tomate, maíz y soja, y obtener plantas tolerantes al herbicida. El glifosato es el conocido herbicida Roundup® comercializado por Monsanto (Bartolomé, 2001).

En cuanto a la estrategia de destoxificación, tenemos un ejemplo muy común, el del herbicida fosfotricina, que es el comercializado con el nombre de Basta® por Hoescht AG (actual Aventis). Este herbicida, que también es de amplio espectro, actúa inhibiendo la enzima glutamina sintetasa necesaria para la síntesis de aminoácidos y asimilación de nitrógeno en las plantas. La inhibición de dicha enzima conlleva una acumulación de amonio en el interior de la planta, como el amonio es tóxico por encima de ciertos niveles, la planta termina muriendo. Algunas especies de *Streptomyces* llevan un gen, denominado *bar*, que codifica una enzima la cual inactiva la fosfotricina por acetilación. Varios grupos han utilizado el gen *bar* para conseguir, mediante transgénesis, por *Agrobacterium* o por bombardeo de genes, plantas de tabaco, tomate, patata, alfalfa, trigo y arroz, tolerantes al herbicida.

3.2.3 Modificación de las características de frutos y semillas

a) Maduración controlada de los frutos:

Como otros procesos de desarrollo de las plantas, la senescencia está controlada por hormonas. El proceso de maduración de un fruto, como el tomate, se inicia con la producción por sus células de una hormona denominada etileno. En los vegetales el etileno produce una serie de respuestas como la síntesis de poligalacturonasa, la producción de pigmentos rojos o el desarrollo de aromas específicos. La poligalacturonasa degrada las paredes de las células vegetales produciendo el ablandamiento del tomate. Científicos de Calgene en Davis, California, suprimieron en un 90% la expresión de esta enzima, mediante la estrategia RNA antisentido, obteniendo tomates que se pueden dejar en la planta más tiempo que un tomate normal sin que se ablanden en exceso. Su aspecto es idéntico al de los tomates normales pero, al no sufrir el ablandamiento, es más resistente a los daños mecánicos producidos durante la recogida en el campo, o en el proceso de embalaje y



transporte. A este tomate se le denomina FlavrSavr™, aunque su marca comercial es Mc Gregor, y fue el primer alimento transgénico que obtuvo el permiso de comercialización (Bartolomé, 2001).

En el caso de querer conseguir una vida comercial más larga, por ejemplo, en el tomate "Flavr Savr", no se introduce un gen de otro ser vivo, sino un gen "antisentido", artificial, que evita que se sintetice una proteína responsable de la senescencia del tomate.

Los dos últimos pasos de la síntesis de etileno implican la síntesis de ACC (ácido carboxílico 1-aminociclopropano) por la enzima ACC-sintasa y posteriormente su conversión en etileno por acción de ACC-oxidasa. Científicos de la Universidad de Nottingham, en el Reino Unido, y de la Universidad de Berkeley, en California, han conseguido reducir la expresión de ambas enzimas mediante la estrategia de RNA antisentido, logrando una drástica reducción en la producción de etileno acompañada de un retraso en la maduración (de 1 semana a 4 semanas). Biotecnólogos franceses han obtenido melones con una copia antisentido del gen de la ACC sintasa, logrando melones de maduración lenta. Científicos de la empresa Monsanto han conseguido reducir la síntesis de etileno y retraso en la maduración, al introducir en el tomate un gen bacteriano que codifica una enzima que degrada la molécula de ACC, el precursor del etileno (Bartolomé, 2001).

b) Modificación en la calidad de los alimentos:

En los últimos años se han obtenido plantas transgénicas en las que se ha modificado la composición bioquímica de sus frutos o semillas. Se han conseguido modificar, tanto la composición de los ácidos grasos de sus triglicéridos y fosfolípidos, como las características y cantidad de su almidón o sus proteínas.

La canola es un importante cultivo oleaginoso. La investigación transgénica se ha concentrado en mejorar la calidad del aceite de canola aumentando el contenido de vitamina E o modificando el balance de ácidos grasos. Una línea de soya transgénica produce un 40 por ciento de los lípidos como ácido láurico porque se ha introducido una enzima, la ACP tioesterasa de la planta California Bay, lo cual causa una terminación prematura de la cadena en el ácido láurico. Una línea de colza acumula 40% de ácido esteárico que se forma debido a la presencia de una copia antisentido de la enzima estereato desaturasa de *Brassica* que en condiciones normales desatura el estereato a oleato (Bartolomé, 2001).



c) Modificación de las proteínas:

La producción de plantas transgénicas cuyas semillas presenten proteínas de alto valor nutritivo es un objetivo importante en alimentación. Los cereales suelen ser pobres en lisina (Lys) y tirosina (Tyr), y las semillas de legumbres pobres en aminoácidos que contengan azufre como la metionina (Met) y cisteína (Cys).

Hay tres maneras fundamentales de modificar la calidad de las proteínas presentes en las semillas. Una es conseguir que la planta exprese una proteína nueva en la semilla que sea rica en los aminoácidos de interés (Lys, Tyr, Met, Cys). Otra sería introducir, por sustitución o adición, los aminoácidos de interés en la composición de una proteína que ya existe en la semilla, sin que varíe la biología de la misma. La última posibilidad es incrementar los niveles del aminoácido de interés en estado libre, esperando que conlleve un incremento en la síntesis de las proteínas que contengan ese aminoácido (Bartolomé, 2001).

La primera estrategia se ha llevado a cabo transfiriendo a plantas de tabaco, soja, canola y alubias el gen de la albúmina 2S de la nuez del Brasil (proteína con alto contenido en Met). Esta proteína es un alérgeno mayor de la nuez del Brasil y al ser expresada en soja se comprobó que mantenía su carácter alérgico. Por tanto, su transgénesis en semillas con interés agrícola quedará destinada a la alimentación animal. En el caso que se exprese en semillas para uso en alimentación humana, es de esperar que sea advertido en la etiqueta de presentación del alimento.

La segunda estrategia se ha realizado introduciendo los aminoácidos de interés en zonas hipervariables de una proteína presente en la semilla. Al producirse estas sustituciones de aminoácidos en una zona hipervariable de la proteína, generalmente la proteína no suele modificar su biología ni su localización celular.

Con objetivos puestos en la industria textil, científicos australianos han obtenido variedades de alfalfa y trébol que expresan la albúmina 2S de semillas de girasol (rica en Met). De esta forma aumentan la presencia de aminoácidos ricos en azufre en la dieta de las ovejas para aumentar la productividad de lana de las mismas.

3.2.4 Alimentos con valor añadido

a) Alimentos con vitaminas. "Arroz dorado":

La deficiencia de vitamina A produce ceguera y trastornos inmunitarios, que contribuyen a la muerte de más de un millón de niños cada año, en países de Asia, África e Iberoamérica. El arroz constituye un medio óptimo para aportar la vitamina requerida. No hay que olvidar que esa gramínea alimenta



a un tercio de la población mundial. Pero las variedades naturales carecen de vitamina A. Científicos suizos y alemanes acaban de producir un arroz, modificado genéticamente, que sintetiza β -caroteno, un pigmento que el organismo convierte en vitamina A. Por la coloración que presenta se le ha denominado "arroz dorado". El arroz dorado no está todavía listo para su comercialización, quedan pendientes muchas pruebas, incluidos los análisis para comprobar si el organismo humano absorbe bien el β -caroteno de la planta.

Hace unos años, se informó de la creación de un tomate que contiene un gen capaz de triplicar la cantidad de β -caroteno habitual. Asimismo es de señalar un proyecto internacional centrado en el incremento del contenido de vitaminas y minerales en el arroz y en otros cuatro vegetales: trigo, maíz, alubias y mandioca. A este tipo de alimentos se les ha llamado "alimentos", debido a su carácter mixto de alimento y medicamento.

c) Alimentos "hipoalergénicos":

Un alérgeno mayor de la semilla de arroz es una albúmina de 16 kDa que pertenece a la familia de los inhibidores de la α -amilasas/tripsina. Científicos japoneses, mediante la estrategia del ARN antisentido, han conseguido producir un arroz que presenta una expresión muy baja de dicha proteína en sus granos, consiguiendo un arroz "hipoalergénico".

3.2.5 Rasgos agronómicos

Es posible mejorar las características agronómicas de los cultivos, tales como el color, la fijación de nitrógeno, la síntesis de almidón y la resistencia a todos los tipos de estrés.

a) Cambio del color de las flores:

La Ingeniería Genética puede ser utilizada para cambiar el color de las flores por la inactivación de enzimas endógenos o introduciendo nuevos genes. Ambos abordajes han sido aplicados con éxito, el primero, reduciendo la actividad de la chalcona sintasa (CHC) lo cual reduce la formación de pigmentos rojos y azules.

b) Fijación de nitrógeno:

La fijación de nitrógeno es un proceso bacteriano que sin embargo, puede introducirse en plantas. Un problema de fijación de nitrógeno es que es muy sensible al oxígeno, y por lo tanto, se requiere de un ambiente microaeróbico para que el proceso funcione.



c) *Tolerancia al estrés:*

La modificación de plantas para tolerar varios estreses tales como: bajas temperaturas, altas temperaturas, sequía, salinidad, congelación o inundación, tiene claras ventajas, pero la tolerancia es una característica que implica varios genes, y por lo tanto, no es fácil de manipular. Sin embargo, se han intentado una serie de métodos para mejorar la tolerancia al estrés, de los cuales aquellos que han tenido mayor éxito han sido la producción de osmorreguladores, de enzimas que modifican la membrana, de enzimas que eliminan radicales y de proteínas inducidas por estrés. Recientemente, el biotecnólogo mexicano Luis Herrera Estrella, investigador del CINVESTAV Irapuato, ha obtenido plantas de maíz transgénico que pueden crecer en suelos con alto contenido de aluminio y con baja cantidad de fósforo (Enciso, 2003).

3.2.6 Plantas utilizadas como biorreactores

a) *Vacunas y fármacos:*

La última generación de vacunas comerciales suelen ser caras (en parte porque se producen en cultivos de bacterias o células animales), hay que purificarlas y deben conservarse refrigeradas. Una posibilidad para evitar estos problemas sería expresar estas proteínas en alimentos que nos sirviesen a modo de vacunas comestibles. Científicos de la Universidad de Loma Linda, en California, han conseguido obtener plantas de tomate y patatas que sintetizan proteínas del virus de Norwalk, de *E. coli* enterotóxica, de *V. Cholerae*. En 1997 los voluntarios que ingirieron trozos de patatas crudas peladas, que contenían la subunidad B de enterotoxina de *E. coli*, presentaron respuestas inmunitarias sistémicas y en la mucosa (Bartolomé, 2001). Se ha observado reactividad inmunitaria en 19 de 20 personas que comieron patata con vacuna contra el virus de Norwalk; y 2 de 3 voluntarios que ingirieron lechuga transgénica con un antígeno de hepatitis B presentaron respuesta sistémica. Se han producido y se están evaluando actualmente bananas transgénicas que contienen virus inactivados causantes del cólera, la hepatitis B y la diarrea (Byrne *et al.*, 2003).

Otro objetivo adecuado serían los cereales. Recientemente se logró expresar, en semillas de arroz y trigo, un anticuerpo contra el cáncer que reconoce células cancerosas de pulmón, mama y colon y que, por lo tanto, puede ser útil para el diagnóstico y la terapia en lo futuro (Stoger *et al.*, 2000; citado en Royal Society of London, Academia de Ciencias de Brasil, Academia de Ciencias de China, Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Academia Mexicana de Ciencias, Academia Nacional de Ciencias de la India, U.S. National Academy of Sciences. 2000).



b) Producción de plásticos biodegradables:

El poli-3-hidroxi-butirato (PHB), un poliéster con propiedades termoplásticas, se ha sintetizado en la conocida planta *Arabidopsis* introduciendo los genes de la acetil-CoA reductasa y la poli-(3-hidroxi-butirato) cintasa. Estos genes se expresaron inicialmente en el citoplasma donde el suministro de acetil Co-A se cree que es limitante. Existe un nivel mucho más alto de acetil Co-A en los plastidios, ya que éste es el lugar de síntesis de los ácidos grasos, de modo que redirigiendo las enzimas a los plastidios se consiguió un incremento de 100 veces en la acumulación de PHB (Goddijn, 1995; citado en Scragg, 2001).

3.2.7 Tecnologías terminator/traidor

Durante el siglo pasado se sancionaron varias leyes sobre patentes de plantas, en un intento de aumentar las utilidades potenciales de las empresas agrícolas. Dos métodos de protección de la biotecnología, apodados "Terminator" (Exterminador) y "Traidor" por los opositores, tal vez permitan a las empresas aumentar las utilidades en sus actividades de desarrollo de variedades. "Terminator", cuyo nombre oficial es Sistema de Protección de Tecnologías (TPS, sigla en inglés), incorpora una característica que mata los embriones de las plantas en desarrollo de tal modo que no se pueden guardar y volver a sembrar en años posteriores. "Traidor", cuyo nombre oficial es Tecnología de Restricción del Uso Genético Específica para la Característica o T-GURT (sigla en inglés), incorpora un mecanismo de control que exige aplicaciones anuales de una sustancia química de marca registrada para activar las características deseables en el cultivo. El agricultor puede guardar y volver a sembrar semillas, pero no puede concretar los beneficios de las características controladas a menos que pague por la sustancia química activadora cada año.

El Sistema de Protección de Tecnologías (TPS) inserta media docena de secuencias extrañas en el DNA de la planta progenitora que se pretende proteger. Estas secuencias de DNA están dispuestas en un sistema que mata las semillas en un momento predeterminado de su desarrollo. El TPS se activa remojando las semillas en una sustancia química especial antes de que sean entregadas al agricultor para la siembra. El sistema está diseñado para ser puesto en vigor sólo después de que el cultivo ha alcanzado la madurez en el campo y las semillas de la progenie están casi maduras. En la tabla 7 se presenta un sistema que fue analizado extensamente en la patente TPS.

Este sistema de protección de tecnologías presenta la ventaja de que los cultivos transgénicos con TPS no propagarán sus genes a las plantas vecinas. Si bien esto puede ser considerado un beneficio al prevenir la propagación de características transgénicas a poblaciones silvestres, puede tener un



impacto negativo sobre la capacidad de mantenerse de las poblaciones silvestres (Byrne *et al.*, 2003).

Tabla 7: Sistema de protección de tecnologías:

| Nombre de la secuencia de DNA | Fuente | Propósito |
|---|---|--|
| <i>Promotor 35S</i> | Virus del mosaico de la coliflor | Activa el gen conectado a él |
| <i>Represor Tn10 tet</i> | <i>Escherichia coli</i> | Impide que se produzca recombinasa (véase "recombinasa cre" más abajo en este cuadro) |
| <i>Recombinase cre</i> | virus P1 | Recorta los segmentos lox que bloquean la producción del inhibidor ribosómico (véase "lox" más abajo en este cuadro) |
| <i>lox</i> | Podría ser originario de la planta huésped o derivado de otro organismo | Crea una barrera para la producción del inhibidor ribosómico; la eliminación de los segmentos lox permite la producción del inhibidor ribosómico (véase "inhibidor ribosómico" más abajo en este cuadro) |
| <i>Promotor de la embriogénesis tardía</i> | podría ser originario de la planta huésped o derivado de otro organismo | Estimula la producción del inhibidor ribosómico cuando las semillas llegan a una etapa avanzada del desarrollo (véase "inhibidor ribosómico" más abajo en este cuadro) |
| <i>Proteína inhibidora ribosómica (calavera y tibias cruzadas en el diagrama)</i> | Saponaria officinalis, una planta | Mata las semillas en desarrollo al obstaculizar el proceso esencial de producción de proteínas |

Fuente: Byrne *et al.*, (2003)



A causa de la controversia alrededor de la tecnología TPS, varias empresas agroquímicas desarrollaron la opción T-Gurt. Las semillas T-Gurt no tendrán esterilidad controlada y podrán ser sembradas año tras año por los agricultores. Sin embargo, para que el agricultor se beneficie con las características genéticamente modificadas insertadas en el genoma, debe adquirir una sustancia química de marca registrada cada año para rociar las semillas de las plantas jóvenes con el fin de activar la característica cuando guarda semillas para volverlas a sembrar.

La sustancia química de marca registrada usada para tratar las semillas cada año no debe ser una sustancia que tenga consecuencias negativas para el medio ambiente. Quienes desarrollan las variedades y los organismos gubernamentales reguladores deben considerar la inocuidad de la sustancia en el medio ambiente cuando diseñan y aprueban las variedades T-Gurt (Byrne *et al.*, 2003).

3.3 Animales transgénicos en la alimentación

La utilización y comercialización de animales transgénicos para la alimentación, todavía hoy no se ha producido. Por una parte, la mayor complicación técnica del proceso y de organización biológica de los animales ha permitido, hasta la fecha, una muy baja eficiencia en el proceso, pero no debemos olvidar que, muy probablemente, los intentos con tal fin se hayan visto mermados debido a la alta polémica surgida, sobre todo en la sociedad europea, con la comercialización de plantas transgénicas y, por tanto, de alimentos vegetales transgénicos.

Sin embargo, es conocida la obtención por científicos de la Universidad de Pensylvania de cerdos transgénicos que portan múltiples copias del gen bovino que codifica la hormona del crecimiento. Estos animales ganan peso más rápido que un cerdo normal, obteniendo un rendimiento mayor de su alimentación y cumpliendo el objetivo que se buscaba al obtenerlos. Sorprendentemente (éste no era el objetivo buscado) presentan una característica de gran interés nutritivo, hay una disminución de la acumulación de grasa subcutánea en el dorso del animal. En otras palabras, son cerdos con un menor contenido en grasa animal y, por tanto, más adecuados para dietas bajas en colesterol. Pero, lamentablemente, estos cerdos transgénicos presentan graves problemas físicos. Al nacer tienen peso inferior y manifiestan poco apetito y letargia, y al llegar a adultos, padecen de artritis, de poca fertilidad y de una alta incidencia de úlceras. Todos estos trastornos pueden ser producidos por el exceso de hormonas en la sangre.

La situación es diferente en peces. Biotecnólogos de la Universidad de Maryland han descrito la creación de carpas transgénicas que portan múltiples copias del gen de la hormona de crecimiento



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA APLICACIÓN DE ORGANISMOS TRANSGÉNICOS EN LA ALIMENTACIÓN

de la trucha y son un 20% más grandes que las carpas normales. Estos animales no presentan ningún problema patológico asociado a la sobreproducción animal, y su carne posee las mismas características organolépticas que las carpas sin transformar. Recientemente científicos de la Universidad de Singapore, el servicio pesquero norteamericano y la compañía canadiense Fisheries and Ocean han obtenido resultados similares trabajando con salmones (Bartolomé, 2001).



4. ALIMENTOS TRANSGÉNICOS DISPONIBLES ACTUALMENTE

El área de mayor auge en la producción de alimentos transgénicos es la Biotecnología Agrícola, que maneja principalmente la creación y cultivo de plantas que permiten obtener rendimientos agronómicos más altos, con miras a mejorar la productividad en ciertos cultivos básicos como maíz, soya, canola y algodón.

La Biotecnología Agrícola es también la más conocida y publicitada, ya que involucra el manejo de granos y cereales a granel también llamados *commodities*, y actualmente en el mercado internacional estos granos están constituidos en buena proporción por granos transgénicos (Gálvez y Díaz, 2000).

Algunas cifras nos indican la rápida expansión que han tenido los cultivos transgénicos en los últimos años. Las primeras pruebas de campo con cultivos transgénicos se realizaron con tabaco hacia 1986 en Francia y Estados Unidos. Desde entonces, se han modificado por ingeniería genética más de 70 especies de plantas; 56 de ellas han pasado ya a los ensayos en campo. Durante 1991 y 1992, en Holanda y Canadá se realizaron más de 10 pruebas de campo con cultivares transgénicos de patata, y existe información sobre cultivares transgénicos de tomate en México en 1986, tabaco en Cuba en 1990 y maíz en Argentina en 1991 (Bartolomé, 2001).

El primer cultivo transgénico, tabaco resistente a virus, se comercializó en China a principios de 1993 (Bartolomé, 2001).

El tomate con retraso en la maduración FavrSavrTM fue el primer alimento transgénico en ser cultivado para destino en alimentación humana. En Estados Unidos, el 18 de mayo de 1994 la Food and Drug Administration (FDA) autorizó la comercialización del primer alimento con un gen "extraño", el tomate "FlavrSavr", obtenido por la empresa Calgene (Bartolomé, 2001).

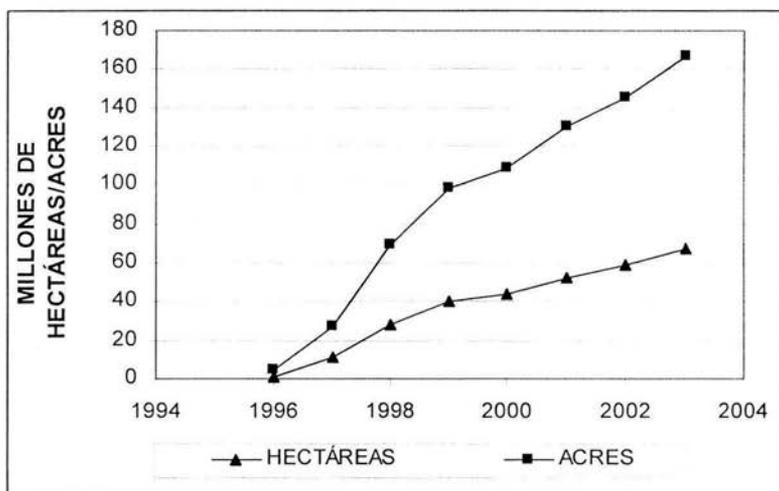


4.1 Cultivos transgénicos, características y superficie cultivada

Los datos que se exponen enseguida han sido obtenidos del informe publicado por el Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones de la Agro-biotecnología (ISAAA), institución norteamericana encargada de estudiar la evolución de las aplicaciones agronómicas de la Biotecnología.

El ISAAA predice que, en los próximos cinco años, 10 millones de productores en 25 o más países cultivarán 100 millones de hectáreas de variedades transgénicas. Según este informe, se espera que el valor del mercado mundial de cultivos transgénicos pase de los 4 500 millones de USD del año 2003 a 5 000 millones de USD en el 2005.

Figura 8: Superficie global cultivada con transgénicos, 1996-2003



Fuente: James (2003)

4.1.1 Superficie global cultivada con transgénicos

Según el informe publicado por el ISAAA, la siembra de cultivos transgénicos sigue aumentando en más de un 10 por ciento, hasta alcanzar los 67.7 millones de hectáreas en el 2003, es decir, 15 por ciento más que en 2002 (Fig. 8). Esta cifra incluye los 3 millones de soja genéticamente modificada de Brasil y que corresponden, calculando por lo bajo, a la superficie cultivada en este país, que



aprobó su siembra por primera vez en 2003. Puede que la superficie final sembrada en Brasil sea bastante mayor.

Pero si se observa la figura 8, podrá notarse que el período comprendido entre 1996 y 1998 es el de mayor producción de transgénicos. Posteriormente, aunque la superficie de cultivos transgénicos aumenta, esto sucede a una menor velocidad de crecimiento. Es importante hacer referencia a la reciente oposición del mercado europeo a consumir productos transgénicos, que de hecho, condujo a la Comunidad Europea a establecer una moratoria de facto a partir de octubre de 1998 respecto a los nuevos cultivos transgénicos. Es decir, aunque esta moratoria no está prevista legalmente, se han paralizado las autorizaciones para el cultivo de nuevos transgénicos. Además, algunos estados han prohibido la autorización de cultivos transgénicos en su territorio, sin embargo, esta política está ahora mismo bajo revisión. Toda esta situación ha dado lugar a una disminución en el área cultivada en los Estados: de 10 millones de hectáreas sembradas en 1999 a 8 millones en 2000.

Tabla 8: Superficie global cultivada de transgénicos, 1996-2003

| <i>Año</i> | <i>Hectáreas (millones)</i> | <i>Acres (millones)</i> |
|------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1996 | 1.1 | 4.3 |
| 1997 | 11.0 | 27.5 |
| 1998 | 27.8 | 69.5 |
| 1999 | 39.9 | 98.6 |
| 2000 | 44.2 | 109.2 |
| 2001 | 52.6 | 130.0 |
| 2002 | 58.7 | 145.0 |
| 2003 | 67.7 | 167.2 |

Fuente: James (2003)

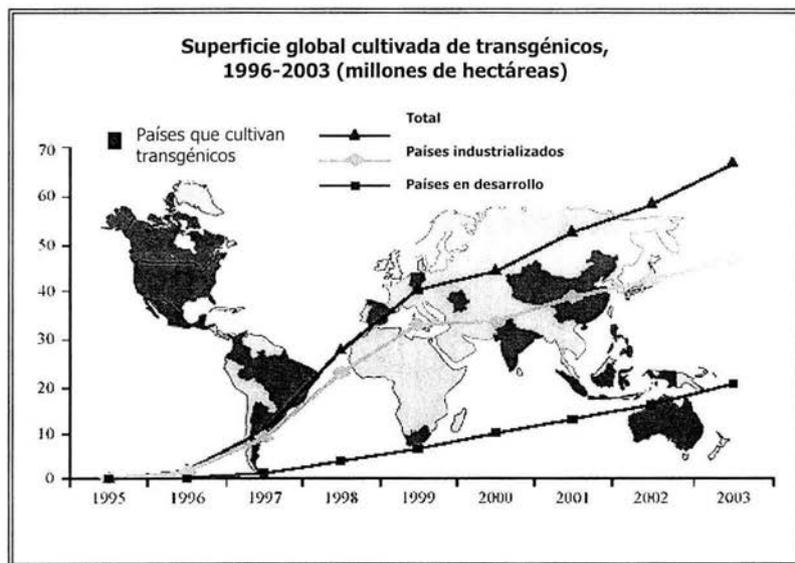
El informe también señala que 7 millones de agricultores de 18 países (más del 85 por ciento de éstos son agricultores de escasos recursos en países en vías de desarrollo) están sembrando cultivos biotecnológicos, frente a los 6 millones de 16 países que lo hicieron en el 2002. El organismo sostuvo, además, que por primera vez en la historia, más de la mitad de la población mundial vive en países donde los cultivos biotecnológicos han sido aprobados y cultivados, desplazando a los granos tradicionales, tendencia que va en aumento.



4.1.2) Distribución de cultivos transgénicos entre países industrializados y países en desarrollo

La mayor parte de la superficie cultivada con transgénicos se encuentra en países industrializados (Fig. 9). El 30 por ciento de la superficie corresponde a países en desarrollo, donde la tasa de adopción de biotecnología agrícola fue del 28 por ciento. Es decir, casi un tercio de la superficie mundial cultivada con transgénicos se encuentra en países en desarrollo, mientras que el año pasado esta superficie fue de un cuarto.

Figura 9: Distribución de superficie cultivada de transgénicos en países desarrollados y países en vías de desarrollo, 1996-2003



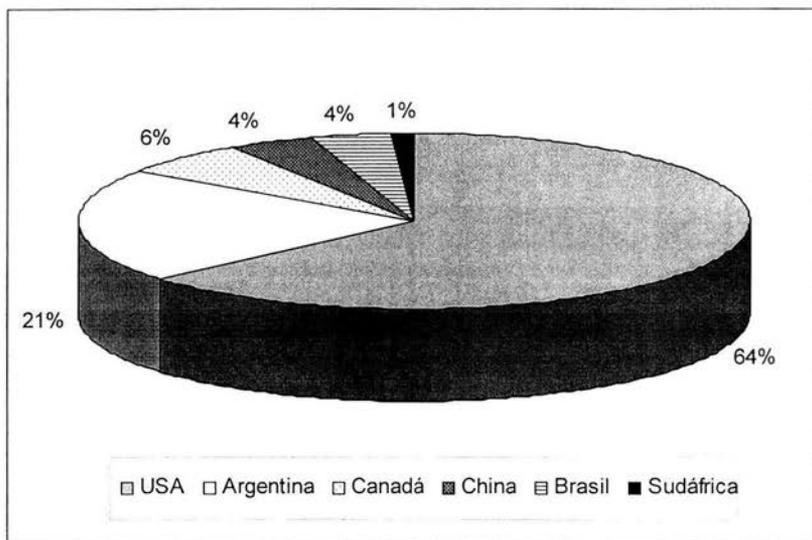
Fuente: James (2003)

4.1.3 Distribución de cultivos transgénicos por país

El 99 por ciento del área global se concentró en seis países principalmente, frente a los cuatro del 2002 (Brasil y Sudáfrica se han sumado a esta lista): Estados Unidos (64% del área global), Argentina (21%), Canadá (6%), Brasil (4%), China (4%) y Sudáfrica (1%).



Figura 10: Distribución de superficie global cultivada de transgénicos por países, 2003



Fuente: James (2003)

De estos seis países, los que experimentaron una mayor velocidad de crecimiento anual fueron China y Sudáfrica, ya que la superficie sembrada en ambos países con cultivos transgénicos fue un tercio superior a la del 2002. China contribuyó con el cultivo de algodón *Bt*, mientras que en Sudáfrica tal aumento se debe al incremento en la superficie de variedades transgénicas de maíz amarillo y blanco, algodón y soya. Estados Unidos sembró 42.8 millones de hectáreas de cultivos transgénicos, 10 por ciento más que en 2002. El aumento se debió al crecimiento significativo que sufrió la superficie de variedades transgénicas de maíz y al crecimiento continuo del área de soya tolerante a herbicida. Argentina contribuyó con 13.9 millones de hectáreas de cultivos transgénicos, 3 por ciento más que en 2002. La superficie de maíz *Bt* continúa aumentando, mientras que la de soya tolerante a herbicida comprende casi el 100 por ciento del total de soya del país.

Canadá cultivó 4.4 millones de hectáreas, 26 por ciento más que en 2002. Este importante incremento se debió a una mayor superficie de canola y un aumento significativo en maíz *Bt* y soya tolerante a herbicida. Brasil sembró soya transgénica por primera vez, con lo que contribuyó con 3 millones de hectáreas más en la superficie global de cultivos transgénicos (James, 2003).



El resto de los principales países que sembraron más de 50 000 hectáreas son Australia, India, Rumania y Uruguay. A pesar de las sequías que afectaron a Australia y que provocaron una disminución leve en el área de cultivos transgénicos, los productores plantaron aproximadamente 100 000 hectáreas de algodón *Bt*. Uruguay y Rumania informaron un crecimiento importante, Rumania aumentó la superficie de soya tolerante a herbicida en un 50 por ciento (70 000 hectáreas), mientras que Uruguay triplicó las hectáreas de soya (60 000 hectáreas) y sembró comercialmente maíz *Bt* por primera vez (James, 2003).

España continúa siendo el país de la Unión Europea que cultiva áreas significativamente importantes de transgénicos, con 32 000 hectáreas de maíz *Bt* (33 por ciento más que el año pasado). En el resto de Europa, Alemania continúa cultivando una pequeña superficie de maíz *Bt*, mientras que Bulgaria sembró unas pocas miles de hectáreas de maíz tolerante a herbicida. India duplicó la superficie de algodón *Bt* en 2003 en su segundo año de producción de cultivos transgénicos, alcanzando las 100 000 hectáreas. Filipinas cultivó transgénicos por primera vez en 2003, con 20 000 hectáreas de maíz *Bt*, la primer variedad transgénica cultivada en Asia. Informes de Indonesia indican que los productores sembraron una pequeña área de algodón *Bt* en Sulawesi. Colombia expandió su área de algodón *Bt* a 5 000 hectáreas durante su segundo año de producción de transgénicos. Honduras aumentó la superficie de cultivo de maíz *Bt* en 2003 a 2 000 hectáreas, desde su introducción pre-comercial de 500 hectáreas en 2002.

En el caso de México, se cultivaron aproximadamente 25.000 hectáreas de algodón *Bt* resistente a insectos y 10.000 hectáreas de soya tolerante a herbicidas. En lo relativo al maíz, aunque se importan anualmente varios millones de toneladas de este grano para cubrir el déficit de producción, aún no se cultiva ninguna variedad de maíz modificado genéticamente, debido a la moratoria para la siembra de este tipo de maíces que se aplicó desde 1998 y que apenas fue retirada a finales de 2003.

4.1.4 Distribución de cultivos transgénicos por tipo de cultivo

La soya transgénica continúa liderando el área global con 41.4 millones de hectáreas (aproximadamente un 13 por ciento más que en 2002), es decir el 55 por ciento de la soya mundial. Las nuevas variedades y aprobaciones de maíz transgénico provocaron un mayor crecimiento del área, que aumentó un 25 por ciento alcanzando las 15.5 millones de hectáreas en todo el mundo, 11 por ciento de la superficie total de maíz.



Tabla 9: Distribución de superficie global cultivada de transgénicos por países, 2002 y 2003

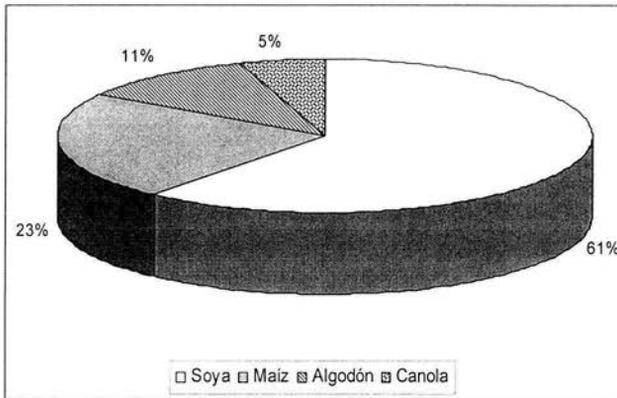
| <i>País</i> | <i>2002</i> | | <i>2003</i> | |
|--------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| | <i>Millones de hectáreas</i> | <i>%</i> | <i>Millones de hectáreas</i> | <i>%</i> |
| USA | 39.0 | 66 | 42.8 | 64 |
| Argentina | 13.5 | 23 | 13.9 | 21 |
| Canadá | 3.5 | 6 | 4.4 | 6 |
| China | 2.1 | 4 | 2.8 | 4 |
| Brasil | - | - | 3 | 4 |
| Sudáfrica | 0.3 | 1 | 0.4 | 1 |
| Australia | 0.1 | <1 | 0.1 | <1 |
| India | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Rumania | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| España | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Uruguay | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| México | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Bulgaria | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Indonesia | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Colombia | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Honduras | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Alemania | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Total | 58.7 | 100 | 67.7 | 100 |

Fuente: James (2003)

La canola presentó un 20 por ciento de crecimiento, 3.6 millones de hectáreas en 2003, lo que implica el 16 por ciento del total, mientras que el algodón *Bt* alcanzó las 7.2 millones de hectáreas (21 por ciento del área global), 6 por ciento más que en 2002 (Figs. 11 y 12).

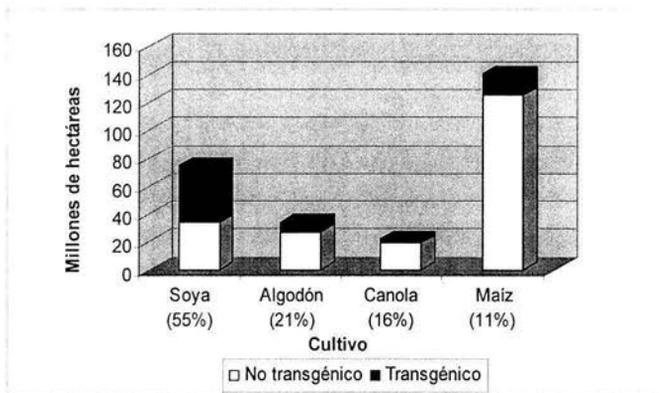


Figura 11: Distribución de superficie global cultivada de transgénicos por tipo de cultivo, 2003



Fuente: James (2003)

Figura 12: Porcentaje de superficie cultivada con transgénicos con respecto al área total del cultivo, 2003



Fuente: James (2003)



Tabla 10: Distribución de superficie global cultivada de transgénicos por tipo de cultivo, 2002 y 2003

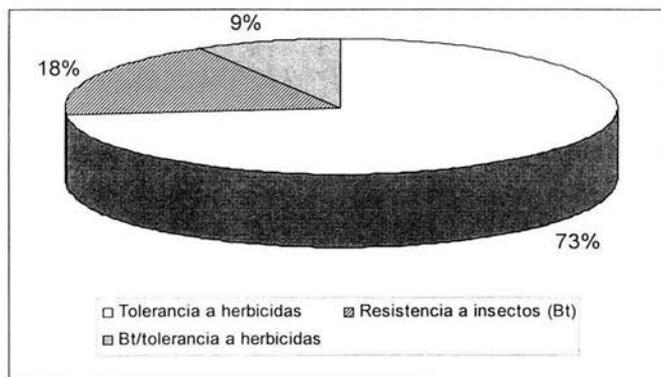
| <i>Cultivo</i> | <i>2002</i> | | <i>2003</i> | |
|----------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| | <i>Millones de hectáreas</i> | <i>%</i> | <i>Millones de hectáreas</i> | <i>%</i> |
| Soya | 36.5 | 62 | 41.4 | 61 |
| Maíz | 12.4 | 21 | 15.5 | 23 |
| Algodón | 6.8 | 12 | 7.2 | 11 |
| Canola | 3.0 | 5 | 3.6 | 5 |
| Calabaza | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Papaya | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Total | 58.7 | 100 | 67.7 | 100 |

Fuente: James (2003)

4.1.5 Distribución de cultivos transgénicos por tratamiento

Desde su liberación a escala comercial, las características modificadas con ingeniería genética correspondiente a los cultivos con mayor área sembrada fueron la tolerancia a herbicidas (en soya, maíz, canola y algodón) ocupando el 73 % y la resistencia a insectos en segundo lugar con el 18 % (Fig. 13 y tabla 4.4). Los cultivos con ambos caracteres modificados representaron en el 2003 el 9% del área sembrada (James, 2003).

Figura 13: Distribución de superficie global cultivada de transgénicos por tratamiento, 2003



Fuente: James (2003)



Tabla 11: Distribución de superficie global cultivada de transgénicos por tratamiento, 2002 y 2003

| <i>Cultivo</i> | <i>2002</i> | | <i>2003</i> | |
|-----------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| | <i>Millones de hectáreas</i> | <i>%</i> | <i>Millones de hectáreas</i> | <i>%</i> |
| Tolerancia a herbicidas | 44.2 | 75 | 49.7 | 73 |
| Resistencia a insectos (Bt) | 10.1 | 17 | 12.2 | 18 |
| Bt/tolerancia a herbicidas | 4.4 | 8 | 5.8 | 9 |
| Resistencia a virus/Otros | <0.1 | <1 | <0.1 | <1 |
| Total | 58.7 | 100 | 67.7 | 100 |

Fuente: James (2003)

4.1.6 Eventos transgénicos dominantes (cultivo-tratamiento)

Tabla 12: Eventos transgénicos dominantes, 2003

| <i>Cultivo</i> | <i>Millones de hectáreas</i> | <i>%</i> |
|----------------------------------|------------------------------|------------|
| Soya tolerante a herbicida | 41.4 | 61 |
| Maíz Bt | 9.1 | 13 |
| Canola tolerante a herbicida | 3.3 | 5 |
| Maíz tolerante a herbicida | 3.1 | 5 |
| Algodón Bt | 3.0 | 4 |
| Algodón tolerante a herbicida | 2.6 | 4 |
| Algodón Bt/tolerante a herbicida | 2.6 | 4 |
| Maíz Bt/tolerante a herbicida | 2.6 | 4 |
| Total | 67.7 | 100 |

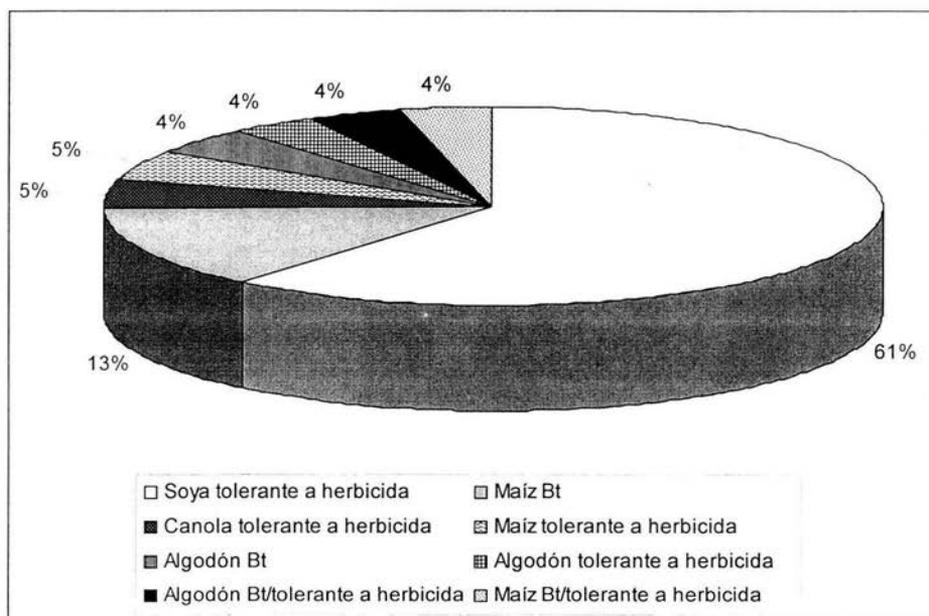
Fuente: James (2003)



Como puede observarse en la tabla 12 y la figura 14, son dos los principales cultivos transgénicos:

- La soya tolerante a herbicida que cuenta con el 61 por ciento del área total cultivada con transgénicos.
- El maíz Bt que cuenta con el 13 por ciento del área total cultivada con transgénicos.

Figura 14: Eventos transgénicos dominantes, 2003



Fuente: James (2003)



4.2 Situación mundial de los cultivos transgénicos aprobados

Agriculture and Biotechnology Strategies (Canada) Inc. mantiene una base de datos sobre las plantas transgénicas que han sido aprobadas para ser liberadas en el medio ambiente, usadas para alimentar el ganado o como alimento del ser humano. La información está organizada por cultivo y por característica. Se puede acceder a la información en: http://www.agbios.com/_Synopsis.asp. En el anexo A se muestra una tabla elaborada a partir de la base de datos referida anteriormente, en la que se identifican todos los cultivos transgénicos que han sido aprobados en diversas partes del mundo hasta el momento. Se especifican cada uno de los eventos de cada cultivo, así como la compañía que los ha patentado, los países en los que se han aprobado y el año de su aprobación.

4.3 Cultivos transgénicos suspendidos

4.3.1 Los tomates *FlavrSavr*

Estos tomates, introducidos en 1994 por Calgene, contenían una secuencia genética que hacía que maduraran con más lentitud que los tomates tradicionales. El tomate *FlavrSavr* a menudo era comercializado como variedad transgénica que costaba más por 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 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*. Durante varios años se contó con tomates *FlavrSavr* en forma esporádica, pero, finalmente, se interrumpió su producción (Byrne *et al.*, 2003).

4.3.2 La pasta de tomates Zeneca

La pasta de tomates 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 algo distinto. En ambos tipos de tomates se redujo la actividad de la poligalacturonasa, la enzima ablandadora. Los tomates *FlavrSavr* fueron modificados con un gen de 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 (Byrne *et al.*, 2003).

4.3.3 Las papas Newleaf

La papa "NewLeaf" de NatureMark de Monsanto, genéticamente modificada 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 Y, 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 gran participación 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 (Byrne *et al.*, 2003).

4.3.4 El lino Triffid

El 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 la interrupción de la producción en sus clientes más importantes, los compradores europeos, se negaban a adquirir lino transgénico. La preocupación por la posible contaminación de la semilla de lino tradicional condujo al retiro del lino *Triffid* (Byrne *et al.*, 2003).

4.3.5 El maíz StarLink

El maíz *StarLink*, como otros tipos de maíz *Bt*, fue modificado genéticamente para obtener resistencia al barrenador europeo del maíz. Mientras que otros maíces *Bt* que estaban en el mercado en 1999 y 2000 producían una toxina *Bt* llamada Cry1A(b), *StarLink* producía Cry9C, una versión ligeramente distinta de la proteína.

En las pruebas exigidas por el gobierno para aprobar la producción del cultivo, la proteína Cry9C había tardado más que Cry1A(b) en descomponerse en las pruebas de digestión artificial y había despertado las sospechas de los inspectores de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) porque presentaba varias otras características de los alérgenos. Como no se resolvió la cuestión de la alergenicidad de Cry9C, la EPA otorgó el permiso para producir el cultivo siempre que no fuera usado



para consumo humano. Los agricultores simplemente tenían que asegurarse de que su cosecha de *StarLink* no se dirigía a canales que condujeran a su inclusión entre los alimentos de consumo humano (Byrne *et al.*, 2003).

El registro dividido resultó un fracaso inmediato. Una encuesta entre 230 agricultores en diciembre de 1999, convocados por Aventis, la empresa de biotecnología agrícola propietaria de *StarLink*, indicó que dos agricultores habían vendido su cosecha de *StarLink* para ser usada como alimento del hombre o para exportación y otros 29 no sabían cuál había sido el uso de su maíz después de la venta (The New York Time, 2001; citado en Byrne *et al.*, 2002).

En la primavera de 2000, ante nuevas solicitudes de Aventis, la EPA preparó nuevamente pruebas para determinar la alergenicidad de *StarLink*, sin embargo, ya era demasiado tarde. Se encontró *StarLink* en las tiendas de abarrotes. En septiembre de 2000, un laboratorio independiente confirmó que las muestras de tortillas de tacos presentadas para las pruebas por un grupo de activistas contra los transgénicos habían dado resultados positivos en cuanto a la presencia de DNA de *StarLink* (Byrne *et al.*, 2003). En unos días, los supermercados retiraban los productos de maíz de sus estanterías. Aventis interrumpió las ventas de semilla de *StarLink* para la siembra de primavera de 2001 y anunció que adquiriría toda la cosecha de 2000 de maíz *StarLink* para impedir todo uso ulterior del maíz en productos alimentarios consumidos por el hombre.

Los administradores de la EPA comenzaron a reconsiderar la aprobación dividida. La EPA ha dicho que nunca más aprobará un cultivo producido mediante biotecnología para empleo dividido.

Sobre la base de la opinión del comité asesor científico, la EPA se negó a aprobar la presencia de *StarLink* en los alimentos (Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act y Scientific Advisory Panel, 2001).

Los Centros para el Control de Enfermedades (CDC) investigaron las reclamaciones de 51 personas que habían sufrido reacciones alérgicas poco después de comer productos de maíz, pero llegaron a la conclusión de que ninguno de los síntomas informados podía ser atribuido a la proteína *StarLink* (Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2003).



4.4 *Los principales productores*

Monsanto (antes Pharmacia), DuPont, Syngenta, Bayer (actualmente se ha integrado Aventis CropScience) y Dow son las cinco compañías que dominan la agrobiotecnología. BASF también es dominante (Delgado, 2002).

En 1999, las semillas genéticamente modificadas de Monsanto fueron plantadas en una superficie de 34.8 millones de hectáreas alrededor del mundo, lo que significa que el área global dedicada a los productos Monsanto en Biotecnología aumentó, entre 1998 y 1999, en un gigantesco 48 por ciento (Monsanto, 1999). Wood Mackenzie, analista de la industria agroquímica, estima que Monsanto acaparó 80 por ciento de todas las ganancias del mercado de agrobiotecnología en 1999, mientras que Aventis obtuvo 7 por ciento Syngenta 5 por ciento, BASF 5 por ciento y DuPont 3 por ciento. A dichas ganancias habría que agregar las generadas por la venta de semillas mejoradas (híbridos), pero que no son transgénicos, donde se colocaría en el primer renglón DuPont, seguida por Pharmacia/Monsanto y Syngenta (Delgado, 2002).

Tabla 13: Principales compañías multinacionales semilleras en 2000

| <i>Compañía multinacional</i> | <i>Ventas en el año 2000 (millones de dólares)</i> |
|--|--|
| DuPont (Pioner) (Estados Unidos) | 1938 |
| Pharmacia (Monsanto) (Estado Unidos) | 1600 |
| Syngenta (Suiza) | 958 |
| Grupo Ligmagrain (Francia) | 622 |
| Grupo Pulsar (Seminis) (México) | 474 |
| Advanta (AstraZeneca&Cosun) (Reino Unido y Países Bajos) | 373 |
| Dow (+Cargill Norteamérica) (Estados Unidos) | 350 |
| KWS AG (Alemania) | 332 |
| Delta&Pine Land (Estado Unidos) | 301 |
| Aventis (Francia) | 267 |

Fuente: Grupo ETC (2001); citado en Delgado (2002)



Según los analistas de Wood Mackenzie, con sede en el Reino Unido, hay tres posibles escenarios para este sector:

- 1) El mercado de semillas transgénicas, que actualmente está valuado en 2 500 millones de dólares, podría crecer alrededor de 6% por año, de modo que llegaría a cotizarse en poco más de tres mil millones de dólares para el 2003,
- 2) Si la tendencia antisemillas transgénicas gana terreno, el mercado podría caer hasta dos mil millones de dólares para el 2003.
- 3) Si se abren mercados clave, como por ejemplo, Brasil, India y China, el mercado mundial podría crecer un promedio de 10% por año, llegando a vales unos 3500 millones de dólares para el 2003.

Tabla 14: Principales compañías multinacionales de agroquímicos en 2000

| <i>Compañía multinacional</i> | <i>Ventas en el año 2000 (millones de dólares)</i> |
|-------------------------------|--|
| Sygenta | 6100 |
| Novartis + AztraZeneca | |
| Pharmacia (Monsanto) | 4100 |
| B. Aventis | |
| AgrEvo + Rhone Poulenc | 3400 |
| BASF (+Cynamid) | 3400 |
| DuPont | 2500 |
| Bayer | 2100 |
| Dow AgroSciences | 2100 |
| Makhteshim-Agan | 675 |
| Sumitomo | 625 |
| FMC | 575 |

Fuente: Grupo ETC (2001); citado en Delgado (2002)



4.5 Los alimentos transgénicos y la industria alimentaria

Algunas enzimas y aditivos utilizados en el procesamiento de los alimentos se obtienen desde hace años mediante técnicas de DNA recombinante. La quimosina, por ejemplo, enzima empleada en la fabricación del queso y obtenida originalmente del estómago de terneros, se produce ahora utilizando microorganismos en los que se ha introducido el gen correspondiente. Sin embargo, la era de los denominados "alimentos transgénicos" para el consumo humano directo, se inició cuando la FDA de Estados Unidos autorizó la comercialización del tomate "*FlavrSavr*".

Los vegetales transgénicos más importantes para la industria alimentaria son, por el momento, la soya resistente al herbicida glifosato y el maíz resistente al barrenador europeo, un insecto.

En el caso de los alimentos completos, o de partes que incluyan la proteína extraña, podemos encontrar la proteína de soya o la harina de maíz y sus productos.

En el caso de la utilización de materiales procesados exentos de proteínas, se tiene lo siguiente: La soya se utiliza como materia prima para obtener aceite, que luego es procesado químicamente por hidrogenación. La soya también se utiliza para la obtención de lecitina. Ninguno de estos dos productos contienen la proteína que ha sido introducida para inducir la resistencia. Casi lo mismo puede decirse del maíz. El maíz se utiliza como fuente de almidón, que tiene aplicaciones directas, y que a su vez es materia prima para fabricar glucosa, que tiene aplicaciones directas y a su vez es materia prima para fabricar fructosa.

Por lo tanto, un alto porcentaje de la industria alimentaria produce alimentos elaborados a partir de materias primas transgénicas. La oficina de extensión cooperativa de la Universidad de Cornell ha evaluado las probabilidades de que productos alimentarios contengan ingredientes genéticamente modificados (Cornell University, 2003). Greenpeace, que es una organización no gubernamental que se opone a los alimentos transgénicos, ha elaborado una lista de marcas de alimentos que esa organización afirma que contienen o no contienen ingredientes transgénicos. En el siguiente capítulo, se proporciona la lista de alimentos transgénicos elaborada por Greenpeace específicamente para México.



5. ALIMENTOS TRANSGÉNICOS DISPONIBLES EN MÉXICO

5.1 Siembra de cultivos transgénicos

La siembra de plantas transgénicas se encuentra a nivel de pruebas de campo en la mayoría de los casos, sólo se ha autorizado para su explotación comercial el algodón y una variedad de jitomate. No obstante, en México se han llevado a cabo un gran número de ensayos con fines experimentales, 247 hasta el 2003 (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004_a).

Las plantas transgénicas tuvieron su primera incursión formal en el campo mexicano en 1988, año en el que se presentó ante la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) la primera solicitud para importar y liberar en campo (específicamente en el área de Culiacán, Sinaloa) tomate con la característica de resistencia a insectos (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004_a).

La Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM)¹ ha publicado una lista detallada de cada uno de los ensayos de productos transgénicos llevados a cabo en México desde 1988 hasta el 2003:

Tabla 15: Análisis de los ensayos de productos transgénicos, llevados a cabo en México de 1988 al 2003

| Periodo | 1988/2001 | 2002 | 2003 |
|---|--------------------|-------------|------------|
| No. De Solicitudes Aprobadas | 201 | 34 | 12 |
| Total de Hectáreas de los ensayos registrados(1) | 214,311.172 | 118,066.734 | 54,215.736 |
| Promedio de Hectáreas de los ensayos registrados(2) | 1,071.556 | 3,472.551 | 4,517.978 |
| Máximo de Hectáreas en un solo registro | 39,549.000 | 20,000.000 | 20,000.000 |
| Mínimo de Hectáreas en un solo registro | 18 plantas de maíz | 0.100 | 1.000 |

¹ En el capítulo No. 9, referente a la Bioseguridad en México, se explican ampliamente las funciones de este organismo gubernamental.



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
ALIMENTOS TRANSGÉNICOS DISPONIBLES EN MÉXICO

Productos Aprobados

| Periodo | 1988/2001 | 2002 | 2003 |
|--------------------------------|-------------|-------------|------------|
| 1. Alfalfa | S/D | N/R | N/R |
| 2. Algodón | 198,823.364 | 102,205.194 | 54,204.736 |
| 3. Arabidopsis Laboratorio | S/D | N/R | N/R |
| 4. Arroz | S/D | N/R | N/R |
| 5. Bt modificado genéticamente | S/D | N/R | N/R |
| 6. Calabacita | 79.250 | 12.540 | N/R |
| 7. Canola | 4.044 | N/R | N/R |
| 8. Cártamo | 10.000 | N/R | N/R |
| 9. Chile | 0.100 | N/R | N/R |
| 10. Clavel | 0.500 | N/R | N/R |
| 11. Limón | S/D | N/R | N/R |
| 12. Lino | 0.020 | N/R | N/R |
| 13. Maíz | 5.068 | N/R | N/R |
| 14. Melón | 14.700 | N/R | N/R |
| 15. Microorganismos | 0.500 | N/R | N/R |
| 16. Papa | 5.500 | N/R | N/R |
| 17. Papaya | 1.250 | N/R | N/R |
| 18. Piña | 0.038 | N/R | N/R |
| 19. Plátano | 0.814 | N/R | N/R |
| 20. Rhizobium etli | 0.500 | N/R | N/R |
| 21. Soya | 15,339.420 | 15,840.000 | 11.000 |
| 22. Tabaco | 2.000 | 9.000 | N/R |
| 23. Tomate/Jitomate | 24.104 | N/R | N/R |
| 24. Trigo | S/D | N/R | N/R |

1) Antes del 1 de Enero de 2001 existen 42 solicitudes sin la indicación del área

(2) Ajustado sin tomar en cuenta los no declarados

S/D No tiene dato sobre las hectáreas

N/R No hizo solicitud en ese periodo

Fuente: Dirección General de Sanidad Vegetal SENASICA-SAGARPA, en Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (2004_s)



Como puede analizarse a partir de la tabla anterior, son **el algodón, la soya, la calabacita, el tomate, el melón, el cártamo, la papa, el maíz y la canola**, objeto de la mayor parte de las investigaciones que se han realizado.

Sin embargo, cabe mencionar que en el mes de julio de 1998, se decretó una moratoria de facto a la siembra experimental de maíz transgénico, por recomendación del entonces Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA), dependiente de la Dirección General de Sanidad Vegetal de la entonces Secretaría de Agricultura (Álvarez, 2000). Es por ello que en los últimos años, como puede observarse en la tabla 5.1, no se registraron solicitudes para la siembra experimental de maíz transgénico.

Recientemente, en el mes de noviembre de 2003, se levantó dicha moratoria luego de un consenso entre los secretarios de Estado miembros de la CIBIOGEM. No obstante, en lo que se refiere a la siembra comercial de maíz transgénico, la moratoria continúa vigente (Rudiño, 2003).

Las características genéticas que más se han estudiado hasta el momento son las siguientes:

- Resistencia a insectos o plagas patógenas (algodón, maíz, tomate)
- Tolerancia a herbicidas (soya, maíz, algodón)
- Retardo de la maduración (tomate)
- Resistencia a virus y patógenos (calabacita, papa, melón, tomate)
- Investigación (desarrollo de marcadores genéticos, vehículos de clonación, etc).

Los ensayos se han llevado a cabo en varios estados del país.

Es en la zona norte, y parte de la zona centro, en donde se han realizado la mayor parte de los ensayos:

- En Tamaulipas, La Comarca Lagunera, Sonora, Sinaloa y Baja California se han realizado importantes estudios sobre el algodón.
- En Sinaloa y Baja California se ha estudiado principalmente el tomate.
- En Nayarit, Jalisco, Tamaulipas, Sonora y Sinaloa también se han realizado ensayos con soya.
- En Baja California se ha estudiado la calabacita.
- En El Batán, Estado de México y en Tlaltizapan, Morelos, ha sido el maíz el principal objeto de estudio.



Figura 15: Principales características genéticas en los cultivos transgénicos en México, 1988-julio 1999



Fuente: Álvarez (2000)

En total, 33 organismos y empresas, la mayoría, transnacionales de la agroindustria, han desarrollado los ensayos con fines experimentales en el país (Fuentes, 2003). Algunas empresas mexicanas, tales como Savia, DNA Plant Technologies y Semillas Híbridas Mexicanas, S.A. han realizado algunos ensayos. Por lo que se refiere a instituciones académicas, cabe destacar la contribución del CINVESTAV (Centro de Investigación y Estudios Avanzados) Irapuato, del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pesqueras), de la Universidad



Autónoma de Aguascalientes, de la Universidad de Calgary, del CEFINI (Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno) y del CIMMYT (Centro Internacional para la Mejora del Maíz y Trigo)

Tabla 16: Principales desarrolladores de organismos transgénicos en México, 1988-2003

| Periodo | 1988/2001 | 2002 | 2003 |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| 1. Agritope | S/D | N/R | N/R |
| 2. Asgrow | 2.453 | N/R | N/R |
| 3. Aventis | 2,160.300 | 200.294 | N/R |
| 4. Bayer | S/D | N/R | 1.236 |
| 5. Calgary | 2.064 | N/R | N/R |
| 6. Calgene | 6.500 | N/R | N/R |
| 7. Campel/Sinalopasta | S/D | N/R | N/R |
| 8. CEFINI/UNAM | S/D | N/R | N/R |
| 9. Ciba Geigy | 0.500 | N/R | N/R |
| 10. CIICA | 1.538 | N/R | N/R |
| 11. CIMMIYT | 0.133 | N/R | N/R |
| 12. CINVESTAV | 4.568 | N/R | N/R |
| 13. DNA PlantTechnologies | 20.700 | N/R | N/R |
| 14. Embajada EUA | 0.100 | N/R | N/R |
| 15. Florigene Europe | 0.500 | N/R | N/R |
| 16. Harris Moran | 1.200 | N/R | N/R |
| 17. Híbridos Pioneer | 58.540 | 15.000 | 10,000.000 |
| 18. INIFAP | 0.264 | 0.400 | N/R |
| 19. ISK Biosciences | S/D | N/R | N/R |
| 20. Malvinas | 35.000 | N/R | N/R |
| 21. Monsanto | 211,905.950 | 117,829.500 | 44,214.500 |
| 22. Mycogen Mexicana | S/D | N/R | N/R |
| 23. Peto Seeds | 0.240 | N/R | N/R |
| 24. Rhone Poulenc | 3.510 | N/R | N/R |
| 25. Semillas Híbridas | S/D | N/R | N/R |
| 26. Seminis Vegetable Seeds | 5.810 | 12.540 | N/R |
| 27. SVS Mexicana | 87.000 | N/R | N/R |
| 28. Trechas Agro S.A. | 0.500 | N/R | N/R |



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
ALIMENTOS TRANSGÉNICOS DISPONIBLES EN MÉXICO

| | | | |
|--|-------|-------|-----|
| 29. UNAM | 0.500 | N/R | N/R |
| 30. Universidad Autónoma de Aguascalientes | S/D | N/R | N/R |
| 31. Upjhon | S/D | N/R | N/R |
| 32. V.Y. México S.A de R.L. | 2.000 | 9.000 | N/R |
| 33. Zenaca | S/D | N/R | N/R |

1) Antes del 1 de Enero de 2001 existen 42 solicitudes sin la indicación del área

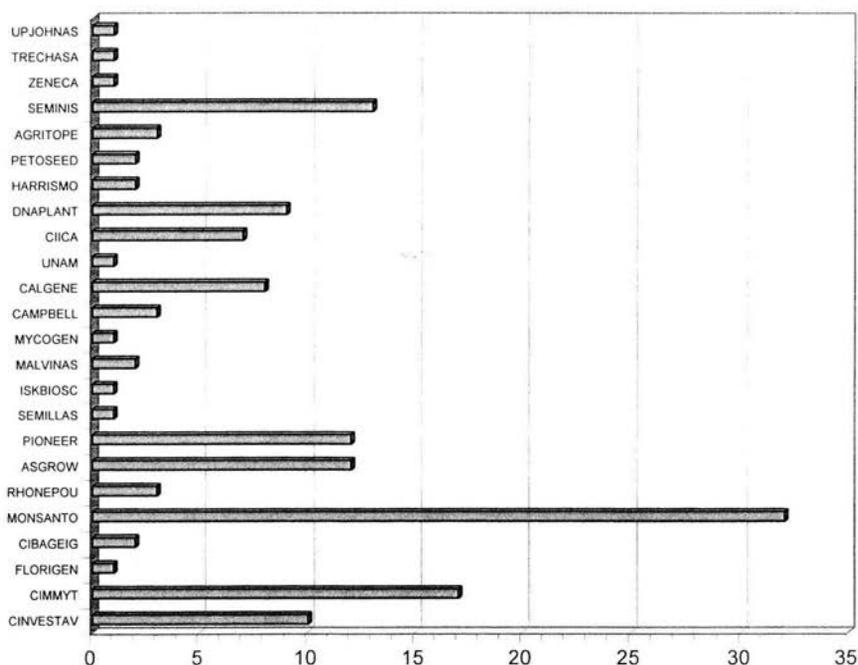
(2) Ajustado sin tomar en cuenta los no declarados

S/D No tiene dato sobre las hectáreas

N/R No hizo solicitud en ese periodo

Fuente: Dirección General de Sanidad Vegetal SENASICA-SAGARPA, en Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (2004.)

Figura 16: Principales desarrolladores de organismos transgénicos en México, 1988-julio 1999



Fuente: Álvarez (2000)



5.2 El consumo de alimentos transgénicos en México

A pesar de que la mayor parte de los cultivos transgénicos en México corresponden a ensayos experimentales, existen algunos cultivos transgénicos para consumo humano que se han evaluado y aceptado para su comercialización en México. Son los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 17: Productos biotecnológicos para consumo humano que se han evaluado y aceptado para su comercialización en México.

| 1995 | |
|--|---|
| Producto | Genes Introducidos |
| Jitomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) de maduración retardada | Gen de poligalacturonasa del jitomate en antisentido |
| 1996 | |
| Producto | Genes Introducidos |
| Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) resistente a la catarinita de la papa | Gen Cry IIIA de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp <i>tenebrionis</i> |
| Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) resistente a insectos lepidópteros | Gen Cry I(C) de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp <i>kurstaki</i> |
| Canola (<i>Brassica napus</i>) resistente al herbicida glifosato | Gen 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa de <i>Agrobacterium</i> subsp cepa 4 |
| Jitomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) de maduración retardada | Gen de poligalacturonasa con actividad reducida, del jitomate |
| Soya (<i>Glycine max</i> L) resistente al herbicida glifosato | Gen 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa de <i>Agrobacterium</i> subsp cepa 4 |
| 1998 | |
| Producto | Genes Introducidos |
| Jitomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) de maduración retardada | Fragmento del gen de la Aminociclopropano ácido carboxílico sintetasa del jitomate |



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
ALIMENTOS TRANSGÉNICOS DISPONIBLES EN MÉXICO

1999

| Producto | Genes Introducidos |
|--|---|
| Canola (<i>Brassica napus</i>) resistente al herbicida glufosinato de amonio | Gen de fosfotricina acetil transferasa de <i>Streptomyces viridochromogenes</i> |

2000

| Producto | Genes Introducidos |
|---|--|
| Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) resistente al herbicida glifosato | Gen EPSPS de <i>Agrobacterium</i> spp cepa CP4 |

2001

| Producto | Genes Introducidos |
|--|---|
| Canola (<i>Brassica napus</i>) resistente al herbicida glufosinato de amonio | Gen de fosfotricina acetil transferasa de <i>Streptomyces viridochromogenes</i> |
| Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) resistente a la catarinita de la papa y al virus del enrollamiento de la hoja de la papa | Gen Cry IIIA de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp <i>tenebrionis</i> y gen de la replicasa del virus PLRV |
| Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) resistente a la catarinita de la papa y al virus de la papa | Gen Cry IIIA de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp <i>tenebrionis</i> y gen de la proteína de la cápside del virus PVY |

2002

| Producto | Genes Introducidos |
|---|--|
| Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) resistente al herbicida bromoxinil | Gen bxn de <i>Klebsiella ozanae</i> que codifica para una nitrilasa |
| Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) resistente a lepidópteros y tolerante al herbicida glifosato. | Gen cry1Ac de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> HD-73 y gen cp4 EPSPS de <i>Agrobacterium</i> sp. cepa CP4. |
| Maíz (<i>Zea mays</i> L.) resistente al herbicida glifosato. | Gen EPSPS de maíz |



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
ALIMENTOS TRANSGÉNICOS DISPONIBLES EN MÉXICO

| Maíz (<i>Zea mays</i> L.) tolerante a insectos lepidópteros. | Gen cp4 EPSPS y cp4 EPSPS L214P de <i>Agrobacterium</i> sp. cepa CP4. |
|---|---|
| Gen cry1A(b) de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>Kurstaki</i> | |
| 2003 | |
| Producto | Genes Introducidos |
| Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) resistente a larvas de lepidópteros de: complejo bellotero, gusano rosado, gusano soldado y gusano cogollero. | Gen cry1Ac de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> y gen cry2Ab2 de <i>Bacillus thuringiensis</i> |
| Maíz (<i>Zea mays</i> L.) resistente a lepidópteros y tolerante al herbicida glufosinato de amonio | Gen cry1F de <i>Bacillus thuringiensis</i> var. oizawai cepa PS811 y gen pat (fosfotricina acetil transferasa) de <i>Streptomyces viridochromogenes</i> . |
| Maíz (<i>Zea mays</i> L.) resistente al gusano de la raíz (<i>Diabrotica</i> spp) | Gen cry3Bb1 de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>Kumatoensis</i> |
| Soya (<i>Glycine max</i> L.) resistente al herbicida glufosinato de amonio. | Gen pat de <i>Streptomyces viridochromogenes</i> cepa Tü 494. |

Fuente: Secretaría de Salud (SSA), en Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (2004_a)

Se puede decir que mas de 70 por ciento de la comida procesada en Estados Unidos es transgénica (Cornell University, 2003). En México, la situación no es diferente.

Se proporciona a continuación una lista de productos que contienen organismos modificados genéticamente o sus derivados, así como las empresas que las elaboran en México. Esta lista ha sido elaborada con las declaraciones escritas que han proporcionado las empresas procesadoras de alimentos al grupo Greenpeace, no se basa en pruebas de laboratorio y no incluye todos los productos a la venta en el país. *Nombre del producto en cursivas* significa que la información está



respaldada por análisis de laboratorio. Los datos que aparecen en esta lista son válidos únicamente para México ya que las políticas de utilización de OGMs de cada empresa así como sus políticas informativas varían según el país.

Tabla 18: Lista resumida de productos que contienen OGMs según Greenpeace

| Las empresas que elaboran estos productos NO GARANTIZAN que no contienen OGMs o sus derivados | Las empresas que elaboran estos productos SI GARANTIZAN que no contienen OGMs o sus derivados |
|---|---|
|---|---|

Tortillas y harina de maíz

Maseca: *Maseca con Vitaminas*

Minsa: *Masa de Nixtamal Instantánea*

La Única: *Tortilla y tostada plana (Minsa)*

Misión: *Tortillas 100% de maíz*

Milpa Real: *Tostadas de maíz*

Red de tortillerías libres de transgénicos: 570

tortillerías en el Distrito Federal y área metropolitana

Mermeladas y conservas

Clemente Jaques: Mermelada

Smucker's: Mermelada

Comida enlatada

Del Fuerte: Chipotles adobados, Granos de Elote

Del Monte: Jalapeños en rajas, Jalapeños enteros,

Chipotles Adobados, Elote Dorado, Garbanzos en

escabeche, Elote dorado, Rodajas de zanahoria

Herdez: Ensalada de legumbres, Chiles jalapeños,

Rajas verdes de jalapeños en escabeche, Nachos de

jalapeños en escabeche, Granos de elote tiernos,

Ensalada de vegetales, Champiñones en escabeche

La Sierra

Alimento para bebé

Karo: Miel de maíz

Nestlé: Nido Kinder, Carnation crecimiento, Cerelac, Sopa con vegetales y tocino

Mom, Bebé Menú

Gerber: Alta Proteína, 4 Cereales, Sopa con pollo,

Aceites, Aderezos y Mayonesas

Capullo: Aceite Vegetal Comestible

Del Fuerte: Catsup



Del Monte: Catsup

Great Value: BBQ Sauce, Catsup, Mayonesa

Hellman's: Aderezo, Mayonesa

Maggi: Jugo Maggi

Ragú

Sopas y alimentos preparados

Knorr: Mole, Adobo

Maggi: Sopón de frijol

Nissin: Cup Noodles 38g sabor camarón, Cup Noodles 38g sabor pollo, Cup Noodles 38g sabor camarón picante, Cup Noodles 38g sabor menudo picante

La Sierra: Sopa de tortilla, Sopa de fideo con camarón, Sopa de frijol con tortilla

Nissin: Cup Noodles 64g sabor carne de res, Cup Noodles 64g sabor pollo, Cup Noodles 64g sabor camarón, Cup Noodles 64g sabor mariscos, Cup Noodles 64g sabor camarón picante, Cup Noodles 64g sabor hot sauce carne de res, Cup Noodles 64g sabor hot sauce camarón, Cup Noodles 64g sabor hot sauce pollo

Botanas

Mafer: Cacahuete japonés, Cacahuete especial, Cacahuete tostado, Cacahuete clásico

Pringles: Papas, Pizza, Queso

Sabritas: Doritos, Ruffles

Dulces y golosinas

Danone: Danette

Gamesa: Mamut

Marinela: Gansito, Pingüinos, Choco Roles, Rocko,

Triki- Trakes, Lors, Barritas, Submarinos

Nestlé: Carlos V, Tin Larín, Kit- Kat

Ferrero Rocher: chocolate

Kinder (Ferrero): Sorpresa, Chocolate, Maxi, Bueno,

Delice

Noggy (Ferrero): chocolate

Tic Tac (Ferrero): chocolate

Hanuta (Ferrero): chocolate

Rafaello (Ferrero): chocolate

Mon Cheri (Ferrero): chocolate

Postres y endulzantes

Betty Crocket: Arroz con leche, Brownies, Betún

Nutella (Ferrero): Nutella

Jell- O: Gelatina

Karo: Miel de maple



Pronto: Betún

Royal: Polvo para hornear

Tres Estrellas: Harina para pastel

Jugos y bebidas

Ades: Bebida de soya

Del Valle: Jugo de Frutas

Florida 7: Jugo

Fresquibón: Fresquibón

Kool Aid: Kool Aid

Maizena: Atole

Nestlé: Nestea

Pepsi: Refresco de cola

Sonrisa: Jugo de frutas

Tang: Tang

Galletas y pan dulce

Bimbo: Colchones, Conchas, Negrito, Donas

Gamesa: Emperador, Crackets, Arcoiris, Marías

Gamesa, Saladitas, Florentinas

Macma: galletas

Oreo: galletas

Panes y harina

Bimbo: Bimbollos, Medias Noches, Pan Blanco, Pan

Multigrano, Pan Integral

Estec: Harina para Hot Cakes

Productos lácteos

Danone: Dan-up

ChaskaFrutas: Helados

Helados Holanda

Santa Clara: Helados

Nestlé: Nido, Carnation Clavel semidescremada, La

Lechera, Helados, Club

Cereales

Great Value: Corn Flakes

Great Value: Azucaradas



Kellogg's: *Corn Pops, Corn Flakes, Corn Flakes
granulados, Froot Loppis*

Maizoro: Corn Flakes, Azucaradas

Nestlé: Gold, Corn Flakes, Zucosos, Chocapic

Alimento para mascotas

Crecilac: Alimento para cachorros

Friskies: Alpo, Friskies

Gatina: Alimento para gatos

Ladrina: Alimento para perros

Purina: Alimento para perros

Bebidas alcohólicas

Corona Extra: Cerveza

Modelo Especial: Cerveza

Negra Modelo: Cerveza

Superior: Cerveza

Sol: Cerveza

Tecate: Cerveza

Victoria: Cerveza

XX: Cerveza

Comida Rápida

McDonald's (McDonald's Sistemas de México)

Marcas Propias

Aurrera

Comercial Mexicana

Nutrisa

Superama

Wall-Mart

Gigante

Soriana

Fuente: Greenpeace México (2001)



6. PRESENCIA DE TRANSGENES EN MAÍZ CRIOLLO MEXICANO

Se ha dedicado un apartado especial para abordar el presente tema debido a las posibles consecuencias que puede tener la presencia de transgenes en cultivos criollos de maíz en México, considerando que el país es centro de origen y diversidad genética del maíz. Es de crucial importancia que se lleven a cabo rigurosos análisis de riesgo que permitan tomar decisiones fundamentadas y responsables respecto a la liberación de cultivos genéticamente modificados, particularmente para los que México es centro de origen y diversificación.

6.1 México, centro de origen y diversidad genética del maíz

Los centros de diversidad genética son aquellas regiones de donde proceden las diversas especies cultivadas, y en consecuencia donde encontraremos el mayor número de especies silvestres relacionadas con dicha especie cultivada, así como las regiones en las que se inició su reproducción y se desarrollaron las primeras variedades (Pengue, 2000). La expresión "centros de diversidad" es genérica, y se refiere tanto a lugares con mayor diversidad de variedades cultivadas de una determinada especie como a lugares con mayor número de especies silvestres emparentadas a una especie cultivada. Los centros de diversidad no son sólo el pilar de la seguridad alimentaria sino también de las tradiciones culturales (Altieri, 2003_a).

La zona de origen de una especie de cultivo no siempre es donde se encuentra la mayor diversidad de variedades. Esto se debe a que los agricultores de otro lugar, distinto del de origen, pueden haber sido los que desarrollaron mayor número de variedades de cultivo (Aken, 2000).

Actualmente, se acepta que hay tres centros de origen principales: Medio Oriente, norte de China y México (Aken, 2000). En estas tres regiones, grupos enteros de parientes silvestres ancestrales de cultivos actuales se domesticaron. Estos cultivos fueron adoptados después en otras regiones, desarrollándose miles de razas y líneas nuevas, creándose de esta forma nuevos centros de diversidad o centros secundarios de diversidad.



México está considerado como un país de "megadiversidad". Es decir, tiene un alto nivel de diversidad biológica (es considerado el quinto país en biodiversidad en el mundo) y una diversidad étnica/cultural considerable (Zinn, 2001). Además, es área de origen, domesticación y diversidad genética de cultivos muy importantes para la alimentación mundial, como maíz, frijol, calabaza, chile, nopal, amaranto, tomate, aguacate, cacao, vainilla, papaya, chía, jícama, agave, henequén, camote, jojoba, algodón, girasol, etc. (Comisión Federal de Mejora Regulatoria, 2002).

En nuestro país existe aún una gran diversidad de maíz. Las prácticas agrícolas de los campesinos han contribuido a mantener la diversidad de maíces nativos mediante la selección, adecuación a ambientes locales e intercambio de semillas. Las campesinas particularmente son quienes seleccionan la diversidad. El teosinte, el pariente cercano del maíz se encuentra presente en muchas áreas donde se produce este cultivo. El germoplasma del maíz y sus parientes representa un reservorio de recursos genéticos para la humanidad (Álvarez-Buylla, 2003).

Toda evidencia arqueológica y biológica señala que el maíz se originó en México, quizás en el occidente del país (Benz, 1986; citado en Álvarez-Buylla, 2003) o en la cuenca del Balsas (Iltis, 1987; Doebley, 1990; citados en Álvarez-Buylla, 2003) entre 7,500 y 10,000 años (Wang *et al.*, 1999; Tenailon *et al.*, 2001; citados en Álvarez-Buylla, 2003).

México ha aportado al menos 50 razas de maíz adaptadas a diferentes condiciones climáticas y altitudes que van desde 0 hasta 2,700 *msnm* (Hernández, 1985; Sánchez, 1993; Iltis y Doebley 1980; citados en Álvarez-Buylla, 2003). Sin embargo, se considera que en México debe haber 60 o más razas de maíz nativas (Álvarez-Buylla, 2003), además de que a las razas principales se suma una gran cantidad de subrazas y variedades locales aún no bien caracterizadas.

A pesar de que se dispone de recolecciones considerables de las variedades de maíz en México, sabemos que hay razas no registradas. Por ejemplo, el CIMMYT cuenta con 8,264 colecciones de maíz, pero faltan al menos 2,000 para alcanzar la colección completa de las razas de maíz mexicano (Álvarez-Buylla, 2003). De teosintes hacen falta muchas más colecciones.

Muchas de las razas de maíz y la mayoría de las subespecies de teosinte se empiezan a considerar en peligro de extinción (Blancas, 2001; citado en Álvarez-Buylla, 2003). El tamaño y la distribución de sus poblaciones se han visto afectadas por el cambio de uso del suelo, la agricultura intensiva y la urbanización (Wilkes, 1997; Sánchez y Ruiz, 1996; citados en Álvarez-Buylla, 2003). Por lo tanto, independientemente del posible impacto de la introducción de variedades transgénicas de maíz, la conservación de las razas mexicanas y de las especies de sus parientes silvestres es prioritaria, asunto de seguridad alimentaria para México y el resto del mundo, y depende de esfuerzos *in situ* y *ex situ*.



6.2 Evidencias de la presencia de transgenes en maíz criollo mexicano

A finales del año 2000, investigadores de la Unión Zapoteco-Chinanteca (UZACHI) y de la Universidad de Berkeley iniciaron un programa para detectar marcadores de transgenes en maíz nativo de la Sierra de Juárez, Oaxaca. El objetivo de esto era tratar de impulsar un mercado de tortilla "gourmet" tradicional y libre de maíz transgénico. Durante el montaje de los protocolos de detección, se encontró evidencia de la presencia de material transgénico en variedades criollas, a pesar de que como ya se mencionó en el anterior apartado, existe una moratoria para la siembra de maíz transgénico en el país.

El Dr. David Quist y el Dr. Ignacio Chapela, de la Universidad de Berkeley, comunicaron a las autoridades de medio ambiente mexicanas sus descubrimientos, que posteriormente fueron publicados en la revista *Nature*, generando una gran controversia internacional. El trabajo de Quist y Chapela tuvo amplia difusión en los medios y estimuló solicitudes de nuevas restricciones para los cultivos genéticamente modificados. Sin embargo, meses después de la publicación de Quist y Chapela apareció en *Nature*, de abril, una carta de su editor en la que señala que la revista no se hace responsable de lo publicado por Quist y Chapela. El deslinde se basa en las conclusiones de un grupo de científicos que cuestionan tanto las técnicas utilizadas como el reporte original, los resultados y las conclusiones de Quist y Chapela. Dos de las cartas recibidas por *Nature*, con críticas a Quist y Chapela, se adjuntan a la nota del *editor* (Metz y Fütterer, 2002; Kaplinsky, *et al.*, 2002; citados en Byrne *et al.*, 2003).

Motivado por los estudios de Quist y Chapela, el gobierno de México ha realizado un mínimo de cuatro estudios durante los dos años pasados para determinar si hay presencia o no de transgenes en el maíz criollo (Tabla 19):

- El Instituto Nacional de Ecología (INE), agencia que depende de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), condujo un estudio inicial que se publicó en septiembre del 2001.
- El INE y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) encargaron a científicos de la UNAM (Dra. Elena Álvarez-Buylla del Instituto de Ecología) y del CINESTAV Irapuato (Dr. Rafael Herrera) la realización de otro estudio. Los resultados se dieron a conocer en diciembre del 2002.
- La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) realizó un estudio más, a petición de la CIBIOGEM. Los centros de investigación que



colaboraron para este estudio fueron el INIFAP, la CONABIO, el INE, la Universidad de Chapingo, la UNAM (laboratorio de la Dra. Elena Álvarez-Buylla) y el CINVESTAV (laboratorio del Dr. Ariel Álvarez Morales). Los resultados de este estudio se dieron a conocer en conferencia de prensa en febrero de 2004.

- Finalmente, el INIFAP también realizó un estudio cuyos resultados no se han dado a conocer.

Mientras tanto, a iniciativa de comunidades indígenas y campesinas, las organizaciones CECCAM (Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano), CENAMI (Centro Nacional de Apoyo a Misiones Indígenas), Grupo ETC (Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración), CASIFOP (Centro de Análisis Social, Información y Formación Popular), AJAGI (Asociación Jalisciense de Apoyo a Grupos Indígenas), UNOSJO (Unión de Organizaciones de la Sierra Juárez de Oaxaca) comenzaron un proceso autogestionado con comunidades para detectar la presencia de transgenes en maíz criollo. A partir de estas organizaciones, y con el apoyo solidario de biólogos de la UNAM, se han realizado diagnósticos de la situación de las variedades nativas de maíz durante dos ciclos: otoño-invierno 2002-2003 y primavera-verano 2003 (Tabla 19).

Tabla 19: Estudios para determinar la presencia de transgenes en maíz criollo mexicano

| <i>Investigación</i> | <i>Metodología</i> | <i>Resultados</i> | <i>Comunicación de resultados</i> | <i>Fuente</i> |
|----------------------|---|---|-----------------------------------|---|
| Quist y Chapela | Se tomaron seis muestras de dos localidades en Oaxaca, otra muestra más de tiendas locales del organismo gubernamental de alimentos subsidiados. Se hicieron análisis de PCR para detectar y amplificar fragmentos de DNA asociados con transgenes, pero no presentes en el maíz autóctono: <ul style="list-style-type: none"> el promotor 35S el gen Cry1Ab, la secuencia de terminación <i>nos</i>, Se hizo también un análisis de | ✓ Se detectó la secuencia 35S en cuatro de las seis muestras de variedades criollas, se encontró la secuencia <i>nos</i> en dos muestras y la secuencia cry1Ab en una sola muestra. ✓ El constructo transgénico era capaz de integrarse en el genoma en múltiples sitios, ya fuera durante el episodio de transformación original o durante la recombinación genética que tiene lugar cada vez que se produce una semilla. | Noviembre de 2001 | Quist, D., Chapela, I. (2001). "Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico". <i>Nature</i> , 413 : 541-543 |



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
PRESENCIA DE TRANSGENES EN MAÍZ CRIOLLO MEXICANO

| | | | | |
|-------------|---|---|--------------------------|---|
| | PCR inversa (iPCR) para examinar las regiones a cada lado del DNA del CaMV 35S y, de ese modo, determinar dónde se había integrado el DNA transgénico en el genoma. | | | |
| INE | 22 localidades muestreadas | <ul style="list-style-type: none"> ✓ En siete de 22 localidades muestreadas no se encontró hasta ahora ninguna evidencia de secuencias transgénicas. ✓ En el resto de las localidades se encontró que entre el 3% y el 10% de las semillas presentaron secuencias transgénicas, con excepción de dos localidades donde la diseminación transgénica parece ser más alta. ✓ Datos obtenidos en las milpas sugieren una baja frecuencia de semillas contaminadas, aunque aunada a una extensión geográfica amplia. | 18 de Septiembre de 2001 | Instituto Nacional de Ecología. (2001). "Confirma SEMARNAT presencia de transgénicos". Comunicado de Prensa, Ciudad de México, 18 de septiembre. |
| INE-CONABIO | El muestreo incluyó mazorcas y maíz desgranado proveniente de un total de 21 localidades de 13 municipios. Además se muestrearon dos centros de distribución de grano. Las muestras obtenidas se separaron dos sub-muestras aleatorias que se enviaron a dos laboratorios: el CINVESTAV y el Instituto de Ecología de la UNAM. En cada laboratorio, y de manera independiente, se analizaron aleatoriamente entre | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Se encontró evidencia de la presencia de marcadores transgénicos en 95% de las localidades muestreadas, de un total de 1876 plántulas muestreadas 142 mostraron evidencia de la presencia del promotor 35S. ✓ Las frecuencias obtenidas son muy variables, van desde 1% hasta 35%, en su mayoría son bajas (menos del 10% en 15 localidades). | Diciembre de 2002 | Ortiz, S. (Instituto Nacional de Ecología). (2002). <i>Los Organismos Genéticamente Modificados y el Análisis de Riesgos. Un estudio de caso: el maíz en México</i> . Trabajo presentado para |



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
PRESENCIA DE TRANSGENES EN MAÍZ CRIOLLO MEXICANO

| | | | | |
|--|---|--|-----------------------------|---|
| | <p>30 y hasta 275 plántulas de cada muestra. En cada laboratorio se llevaron a cabo extracciones y purificaciones de DNA que sumaron un total de 1876 plántulas. Se hicieron análisis de PCR con primers para el promotor 35S, el terminador nos y algunos marcadores.</p> <p>Se seleccionaron muestras para pruebas de ELISA y resistencia a BASTA.</p> | | | <p>NAPRO PRA Symposium, Puerto Vallarta, México, marzo.</p> |
| <p>CECCAM, CENAMI, Grupo ETC, CASIFOP, UNOSJO, AJAGI</p> | <p>Los análisis fueron realizados sobre más de 2 000 plantas, provenientes de 138 comunidades campesinas e indígenas en 11 Estados. Cada una de las comunidades participantes del diagnóstico definió el tamaño de su muestra y las plantas fueron seleccionadas de manera aleatoria, tomadas de las esquinas y centro de cada parcela.</p> <p>Los análisis fueron realizados con "kits" de detección comerciales de la marca Agdia (test DAS ELISA), primero realizados por las propias comunidades y organizaciones, con apoyo de biólogos de la UNAM y más tarde con el mismo tipo de kits, a cargo de una empresa que los distribuye en México.</p> | <p>✓ En 33 comunidades de 9 Estados (Chihuahua, Morelos, Durango, Estado de México, San Luis Potosí, Puebla, Oaxaca, Tlaxcala y Veracruz), 24 por ciento del total muestreado, se encontró alguna presencia de genes transgénicos en el maíz nativo, con resultados en diferentes parcelas que van desde 1.5% hasta 33.3%, en una segunda ronda de análisis.</p> <p>✓ Presencia de dos, tres o cuatro diferentes tipos de eventos transgénicos en la misma planta analizada: presencia de genes <i>Bt</i> (Cry 1a /1Ac, Cry 1Ab/1Ac, Cry9c) y de resistencia a herbicidas (CP4 EPSPS)</p> <p>✓ En los estados de Oaxaca y en la Sierra Tarahumara se encontraron plantas deformes dieron positivo a la presencia de transgénicos.</p> | <p>9 de octubre de 2003</p> | <p>CECCAM, CENAMI, Grupo ETC, CASIFOP, UNOSJO, AJAGI. (2003a). "Contaminación transgénica del maíz en México: mucho más grave". <i>Boletín de Prensa Colectivo</i>, 9 de octubre.</p> |



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
PRESENCIA DE TRANSGENES EN MAÍZ CRIOLLO MEXICANO

| | | | | |
|--|--|--|------------------------------|--|
| <p>Grupo <i>ad hoc</i> integrado por científicos de CINVESTAV Irapuato, INIFAP CONABIO e INE. Apoyo de UNAM y Universidad de Chapingo.</p> | <p>Se reportaron más de 4000 muestras analizadas que se tomaron en 188 localidades de Oaxaca, Puebla y Jalisco.</p> <p>Se llevaron a cabo ensayos de PCR, ELISA, secuenciación e hibridación DNA-DNA para determinar la presencia de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promotor 35-S • Terminador NOS • Algunos genes marcadores • Proteínas Cry y transgenes codificadores • Cry9c <p>SAGARPA levantó 383 encuestas contestadas en los siete distritos del estado de Oaxaca.</p> | <p>Resultados de la primera etapa de estudios:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 7.8% de las muestras de los predios en donde se hicieron análisis resultaron positivos de una u otra manera, ya sea por la detección de proteína o por la detección del transgen. ✓ Presencia de eventos mezclados en la misma planta analizada ✓ No representan un riesgo para las razas y variedades de maíz criollo, ya que disminuyen con el tiempo. ✓ En ninguna de las muestras analizadas se encontró la presencia del gen Cry9c | <p>13 de febrero de 2004</p> | <p>Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. (2004_b). Comunicado de Prensa, Ciudad de México, 13 de febrero</p> |
|--|--|--|------------------------------|--|

Los resultados recabados hasta ahora corroboran la presencia de los transgenes en razas criollas de maíz de Oaxaca y Puebla en porcentajes variables, menores al 10 por ciento en su mayoría y con tendencia a desaparecer según resultados preliminares.

La presencia de dos, tres o más diferentes tipos de transgénicos presentes en la misma planta analizada indica que la contaminación ha ocurrido por varias generaciones y que es proveniente de varias de las empresas multinacionales que los producen.

Habría que realizar los estudios pertinentes para corroborar los nuevos hallazgos encontrados por las organizaciones no gubernamentales:

- ✓ Contaminación en más estados, además de Puebla, Jalisco y Oaxaca
- ✓ Presencia de Cry9c coincidente con la variedad Starlink que fue prohibida para consumo humano en Estados Unidos, por considerarla como un potencial alergénico.
- ✓ Deformaciones fenotípicas encontradas que podrían ser consecuencia de la contaminación.

Además de la introgresión en el campo, otro motivo de preocupación es que el DNA transgénico pueda estar presente en los bancos internacionales de semilla. Hasta el 3 de mayo de 2002, los científicos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) habían examinado 152 razas criollas mexicanas, ya sea de su banco de germoplasma o recientemente recolectadas por



su personal. No detectaron la presencia de la secuencia CaMV 35S, el promotor más comúnmente usado en las variedades de maíz transgénico, y, por lo tanto, se supone que esos materiales están exentos de elementos transgénicos (CIMMYT, 2002; citado en Byrne *et al.*, 2003).

6.3 Posibles causas de la presencia de transgenes en maíz criollo mexicano

Hay básicamente cinco teorías sobre la contaminación genética del maíz mexicano:

1. Importación de maíz no segregado de Estados Unidos y su venta a través de los almacenes de DICONSA u otros importadores de maíz (CECCAM, CENAMI, Grupo ETC, CASIFOP, UNOSJO, AJAGI, 2003_b, y Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004_b). DICONSA no es la única fuente de contaminación transgénica pero es la más cercana a los consumidores rurales, que son a su vez productores de maíz. DICONSA distribuye anualmente más de 600 mil toneladas de maíz como principal producto de su sistema de abasto rural, a través de 300 almacenes rurales y 23 mil tiendas comunitarias ubicadas en 93 por ciento de los municipios del país (De Ita, 2002_b). Más de 200 mil toneladas distribuidas por DICONSA son de maíz importado directamente (aproximadamente el 30 por ciento del maíz de importación es transgénico), mientras que las restantes 400 mil provienen de comercializadoras privadas, que también pueden contener maíz importado y en menor medida de cosechas compradas a organizaciones de productores (De Ita, 2002_b).
2. Aunque no hay ningún campo de prueba de maíz transgénico en el estado de Oaxaca, el polen de maíz puede viajar largas distancias por el viento o insectos, y hay amplia evidencia de esta realidad en Estados Unidos (Álvarez-Buylla, 2003).
3. Otra posibilidad puede ser el trasiego de semilla que es traída de Estados Unidos por trabajadores mexicanos en la "pizca" (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004_b).
4. Por recepción de maíz proveniente de ayuda alimentaria entregada a las comunidades a través de programas del gobierno o de ONG, en situaciones de emergencia tales como lluvias o sequías. Este escenario coincide con las comunidades donde se ha reportado mayor nivel de contaminación y también la presencia de maíces que tienen más de un evento concomitantemente (CECCAM, CENAMI, Grupo ETC, CASIFOP, UNOSJO, AJAGI, 2003_b).



5. Los granos de maíz que caen de los camiones que transportan el maíz importado con frecuencia germinan a lo largo de los caminos. Si bien este maíz adaptado a Estados Unidos no estaría muy adaptado a las condiciones de cultivo en el sur de México, es probable que por lo menos parte de él sobreviva hasta el desprendimiento del polen (Byrne *et al.*, 2003).

6.4 Posibles consecuencias de la presencia de transgenes en maíz criollo mexicano

Los posibles efectos del maíz transgénico en las variedades criollas de la planta en México han sido motivo de debate público desde hace ya varios años.

La principal preocupación se relaciona con el flujo de genes desde plantas genéticamente modificadas, o maíz transgénico, hacia el maíz mexicano y sus parientes silvestres. Tal flujo genético puede afectar la biodiversidad de las variedades naturales, grano que como ya se ha explicado, tiene una amplia base genética como resultado de miles de años de desarrollo y adaptación a diferentes tipos de suelos y microclimas particulares. Ello resulta especialmente preocupante no sólo debido a la importancia sociocultural y económica de la agricultura tradicional del maíz, sino también porque México es el centro de origen de este importante cereal.

Desde abril de 2002, el secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CECA) ha recibido gran cantidad de cartas y peticiones en las que miembros de la sociedad civil en México y otros países del mundo le solicitan emprender un informe sobre el tema.

El informe se presentará al Consejo de la CECA, en representación de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México, en junio de 2004. En esa ocasión un grupo consultivo internacional de especialistas e interesados que orientaron la elaboración del informe presentarán varias recomendaciones al Consejo. El 11 de marzo de 2004 se realizó en Oaxaca, México, un simposio público para analizar estos aspectos y hacer comentarios sobre un informe preliminar.

A continuación se presenta la lista de los artículos que conforman el informe junto con sus respectivos autores (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2003):

1. Contexto y antecedentes del maíz silvestre y el cultivado en México (Antonio Turrent)
2. Identificación de los posibles beneficios y riesgos (Paul Thompson)
3. Evaluación de los efectos en la diversidad genética (Julien Berthaud y Paul Gepts)



4. Evaluación de los efectos en los ecosistemas rurales (L. LaReesa Wolfenbarger y Mario González-Espinosa)
5. Evaluación de los efectos biológicos en los agrosistemas de maíz en México (Major Goodman y Luis Enrique García Barrios)
6. Evaluación de los efectos sociales y culturales asociados con la producción de maíz transgénico (Stephen Brush y Michelle Chauvet)
7. Evaluación de la salud humana y animal (Héctor Bourges, Samuel Lehrer y Andrés Aluja Schunemann [*En enero de 2004 Aluja Schunemann dejó de colaborar en la autoría de este capítulo.*])
8. Marco con el que pueden evaluarse los potenciales beneficios y riesgos (Mauricio Bellon y George Tzotzos)
9. Análisis de cuestiones biológicas y valores comunitarios complejos: comunicación y participación (Jorge Larson y Michelle Chauvet)
10. Identificación y análisis de las herramientas de manejo y las opciones para mitigar o evitar los posibles riesgos y fortalecer o capitalizar los beneficios posibles (Reynaldo Ariel Álvarez-Morales y John Komen)



7. RIESGOS POTENCIALES ASOCIADOS A LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

Esta área de discusión ha generado bastante debate. Antes de analizar los riesgos potenciales de los alimentos transgénicos, resulta conveniente destacar elementos de acuerdo que se tienen hasta el momento.

Los días 28 y 31 de mayo del año 2002 se llevó a cabo en la Ciudad de México el Taller Internacional Pugwash¹ con el apoyo financiero y logístico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la Subsecretaría para las Naciones Unidas, la Academia Mexicana de Ciencias, el Instituto Nacional de Ecología (INE), y los Institutos de Física y Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México. El taller reunió a 35 especialistas provenientes de Brasil, Canadá, Colombia, Cuba, Estados Unidos, Italia, México, Noruega y Venezuela. Como resultado de intensos debates, se identificaron seis puntos de acuerdo que sintetizan las conclusiones del taller y las opiniones de sus participantes, los tres primeros puntos de acuerdo concluyen acerca de los riesgos potenciales asociados a los alimentos transgénicos (Álvarez-Buylla, 2002):

- 1) Los conocimientos actuales son insuficientes para evaluar los beneficios y riesgos de los OGMs, especialmente a la luz de las consecuencias a largo plazo que estas tecnologías puedan tener en la biosfera y en las futuras generaciones.
- 2) En este contexto, se requieren investigaciones independientes y la capacidad institucional para identificar e implementar investigaciones a corto y a largo plazo para analizar, monitorear y evaluar los aspectos ambientales, económicos, de salud y socioculturales de los desarrollos biotecnológicos.
- 3) Dado que se desconocen muchas de las consecuencias a corto y a largo plazo de los OGMs, ciertas actividades no deben ser llevadas a cabo hasta que no se cuente con más información

¹ Fundadas en 1957 y cimentadas en las preocupaciones compartidas por Albert Einstein, Bertrand Russell y otros destacados científicos de la primera mitad del siglo XX sobre el desarrollo de la carrera armamentística de posguerra, las Conferencias Pugwash agrupan, año con año, a importantes miembros de la comunidad científica internacional. Este importante foro ha sido, durante más de cuatro décadas, de crucial importancia para debatir el papel de la ciencia y de sus hacedores en los eventos presentes que definen el camino de la humanidad. Entre otros logros, en 1995 recibieron el Premio Nobel de la Paz (Buylla-Álvarez, comentario personal).



sobre sus consecuencias biológicas y sociales. Por ejemplo, los esfuerzos actuales para producir maíz genéticamente modificado capaz de producir compuestos químicos y farmacéuticos industriales no comestibles son de gran preocupación, ya que el maíz es un cultivo comestible básico, ampliamente cultivado y es de polinización abierta.

7.1 Riesgos en la salud humana

Este tema se abordará de la siguiente manera: Se referirán primero los riesgos potenciales que se han identificado hasta el momento. Posteriormente, se determinará cuál es el estado de arte relacionado con los efectos de los alimentos transgénicos en la salud humana, ello en base a una revisión bibliográfica de artículos científicos publicados sobre estudios toxicológicos al respecto. Finalmente, se analizará la existencia de casos documentados de padecimientos en seres humanos como consecuencia del consumo de alimentos transgénicos.

7.1.1 Riesgos potenciales

La introducción de genes nuevos en el genoma de un organismo puede provocar alteraciones impredecibles de su funcionamiento genético y de su metabolismo celular. La inserción de transgenes es de naturaleza azarosa; por el momento, no se puede predecir el sitio exacto de inserción de los transgenes en plantas y animales, de ahí que la selección de las mejores líneas transgénicas se lleve a cabo con base en pruebas de laboratorio, invernadero y campo *a posteriori*, de manera empírica (prueba y error). Por otro lado, debe considerarse la inestabilidad genética, por la que los genes pueden cambiar su forma de expresarse cuando cambia el medio ambiente y las condiciones en las que crece el organismo genéticamente modificado (Johnson-Green, 2002). La mayoría de los científicos biotecnólogos reconocen que esto es posible. Sin embargo, se ha generado un debate que se centra en la probabilidad de formación de nuevas toxinas. Generalmente los biotecnólogos afirman que esto es poco probable (Johnson-Green, 2002).

Existen además otros riesgos asociados a las herramientas utilizadas en la tecnología del DNA recombinante, tales como el uso de genes de resistencia a antibióticos para la selección de clones recombinantes, o bien, el uso de secuencias promotoras provenientes de virus.

A continuación se describen los riesgos potenciales identificados hasta el momento, los primeros cuatro que se describen, son los que han sido más discutidos hasta el momento:



- **Proteínas extrañas causantes de procesos alérgicos**

Los alérgenos alimentarios más comunes son los productos con alto contenido de proteína, sobre todo, los de origen vegetal o marino. La Academia Americana de Alergia, Asma e Inmunología ha descrito que los alérgenos alimentarios identificados con más frecuencia se encuentran en los cacahuates, nueces, mariscos y pescados, leche de vaca, huevo de gallina, la soya y el trigo. Aunque es común que se hable de reacciones alérgicas al chocolate y a la fresa, éstas no se han documentado.

Uno de los riesgos para la salud de los alimentos transgénicos es la aparición de nuevas alergias, ya que estos alimentos introducen en la cadena alimentaria nuevas proteínas que nunca antes habíamos comido. Si la proteína es un enzima, pueden ocurrir importantes cambios en el metabolismo de la célula y ello puede formar de nuevo sustancias tóxicas y alérgicas. Todo ello puede dar lugar a procesos de tipo alérgico.

Sin embargo, algunos autores dicen que hasta el momento no hay pruebas de que los alimentos transgénicos puedan causar más reacciones alérgicas que los alimentos tradicionales (Byrne *et al.*, 2002).

Cabe mencionar, en cuanto a los estudios de alergenidad, lo siguiente:

- Cuando un gen proviene de un cultivo del cual se conoce su alergenidad, es fácil establecer si el alimento transgénico es alérgico por medio de exámenes *in vitro*, tales como RAST o inmunoanálisis con sueros de individuos sensibilizados al cultivo original.
- El análisis de la alergenidad de alimentos transgénicos es difícil cuando el gen transferido proviene de una fuente no alimenticia o de una fuente a la cual no se le ha determinado alergenidad.
- Actualmente, sólo existen métodos indirectos para la determinación de la alergenidad de un elemento, como por ejemplo, la búsqueda de homologías en secuencias cortas (de por lo menos 8 aminoácidos contiguos) para cada uno de los 200 elementos alérgicos conocidos. Aún menos seguro es el uso de métodos como árboles de decisiones basados en factores (como tamaño y estabilidad) de proteínas expresadas transgénicamente (O'Neil *et al.*, 1998).
- La estabilidad de estas proteínas ante la proteólisis digestiva se examina por medio de un prueba *in vitro* (simulación) en vez de utilizar pruebas *in vivo* en humanos o animales (Metcalf *et al.*, 1996).



En varios años de poner a prueba docenas de cultivos transgénicos propuestos, sólo se han descubierto dos posibles problemas: una soya que fue retirada del proceso de desarrollo y el ahora famoso maíz StarLink.

La soya desarrollada por Pioneer Hi-Bred fue modificada mediante la introducción de un gen de la nuez de Pará. La intención era mejorar la calidad nutricional de la soya agregando el aminoácido metionina, contenido sólo en pequeñas cantidades en la soya pero abundante en la nuez de Pará. Como son frecuentes las alergias a las nueces, se sometió a pruebas la soya transgénica y se descubrió que las personas que tenían reacciones alérgicas a la nuez de Pará también presentaban esas reacciones a la soya genéticamente modificada (Nordlee *et al.*, 1996; citado en Byrne *et al.*, 2002). Parece que el gen escogido para mejorar la calidad nutricional es uno de los genes que desencadenan reacciones alérgicas. Nunca fue aprobada por el gobierno y nunca fue cultivada a nivel comercial ni vendida en tiendas. El maíz StarLink, desarrollado por la empresa Aventis, estaba originalmente destinado a ser vendido como un maíz para todo uso, pero la preocupación de que pudiera ser alergénico llevó a que fuera aprobado sólo como alimento para los animales.

- **Producción de sustancias tóxicas**

Con respecto a la posible toxicidad de los alimentos transgénicos, son muy escasos los estudios científicos. Los ensayos de toxicidad requieren de experimentación con animales de laboratorio, pero debido a que la estrategia que se usa actualmente es la de la **equivalencia sustancial**², no se tienen muchos estudios de este tipo. En el siguiente apartado (7.1.2) se describen detalladamente los estudios toxicológicos llevados a cabo hasta el momento.

- **Resistencia a los antibióticos y transferencia horizontal de genes**

El empleo de marcadores de la resistencia a los antibióticos en el desarrollo de cultivos transgénicos ha despertado inquietudes acerca de la posibilidad de que los cultivos transgénicos promuevan la pérdida de nuestra capacidad de tratar las enfermedades con medicamentos antibióticos. Una de las preocupaciones se vincula con la transferencia horizontal de genes, es decir, la transferencia de DNA de un organismo a otro fuera de la vía de progenitores a descendientes. La transferencia de un gen de la resistencia proveniente de un alimento transgénico a los microorganismos que normalmente se alojan en nuestra boca, estómago e intestinos, o a bacterias que ingerimos junto con los alimentos, podría ayudar a que esos microorganismos sobrevivan a una dosis oral de un medicamento

² En el apartado referente a la discusión sobre el etiquetado de los alimentos transgénicos, se describe detalladamente el concepto de equivalencia sustancial.



antibiótico. Si bien se produce la transferencia horizontal de DNA en circunstancias naturales y en condiciones de laboratorio, probablemente sea muy poco frecuente en el medio ácido del estómago humano (Byrne *et al.*, 2002).

Otra preocupación es que el producto enzimático del DNA podría ser producido en cantidades bajas en las células de plantas transgénicas. Si bien las temperaturas elevadas del procesamiento desactivarían la enzima, en los alimentos preparados, la ingestión de alimentos transgénicos crudos o frescos podría provocar que el estómago contuviera una pequeña cantidad de una enzima que desactiva una dosis oral del antibiótico (Byrne *et al.*, 2003).

La posibilidad de que los genes con resistencia a antibióticos puedan ser transferidos a las bacterias presentes en el aparato digestivo humano recién ahora ha comenzado a ser debidamente investigada. Si bien a menudo se piensa que en condiciones normales el DNA se desintegra rápidamente en partículas demasiado pequeñas como para ser funcionales³, hay pruebas que muestran posibles absorciones de DNA. Investigadores en Alemania dieron a ratas alimentos que contenían una secuencia detectable e inocua de DNA y rastrearon su avance a través del tracto gastrointestinal y el cuerpo. Alrededor del 5 por ciento del DNA era detectable en el intestino delgado, el intestino grueso y las heces hasta ocho horas después de comer (Schubert *et al.*, 1997). Quizás el estudio más importante que se ha hecho al respecto, es el que se hizo en el año 2002 con experiencias en humanos (Byrne *et al.*, 2002). Estas se hicieron en la Universidad de Newcastle, en el contexto de un proyecto de la Agencia de Estándares Alimentarios del Reino Unido, a su vez comisionada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de ese país. Informaron que microorganismos presentes en el sistema digestivo humano adquirieron un gen de resistencia a herbicidas después de que los sujetos humanos ingirieron una comida preparada con soya genéticamente modificada. El experimento fue pequeño e incluyó a 12 personas con sistemas digestivos intactos y a siete que habían sido sometidas a colostomías, en las cuales se habían retirado partes del intestino grueso. En las personas con sistemas digestivos intactos, no se encontró DNA genéticamente modificado en las heces y ningún microorganismo adquirió DNA genéticamente modificado. Sin embargo, en las personas que habían sido sometidas a colostomías, alrededor del 4 por ciento del DNA genéticamente modificado sobrevivió al viaje a través del reducido tracto intestinal y una pequeña cantidad de microorganismos adquirió DNA genéticamente modificado. El DNA transgénico en este experimento fue un gen de resistencia a los herbicidas y no un gen de

³Hay varias circunstancias que pueden impedir el éxito de la transferencia. El medio ácido del estómago degrada el DNA. Mercer *et al.* (1999) (citado en Byrne *et al.*, 2002) encontraron que el DNA se degradaba en 30 segundos cuando se lo mezclaba con la saliva humana y ácido clorhídrico para simular las condiciones del estómago humano. Si bien algunos organismos aceptan DNA extraño en ciertas circunstancias, muchos organismos tienen mecanismos que destruyen el DNA extraño que ingresa sin ser invitado.



resistencia a los antibióticos, pero los resultados indican que se puede producir la transferencia horizontal de DNA transgénico en el tracto digestivo humano bajo ciertas circunstancias.

- **Expresión de proteínas peligrosas asociadas al control de la división celular**

Cuando los científicos usan la tecnología transgénica para instalar un gen nuevo en una planta, agregan segmentos adicionales de DNA para dirigir la actividad de ese gen. Uno de esos fragmentos es el promotor que activa el gen. Como ya se ha indicado, el promotor más ampliamente usado es el promotor 35S del virus del mosaico de la coliflor, cuyo nombre a menudo se abrevia como promotor CaMV o promotor 35S. Se obtuvo este promotor del virus que causa la enfermedad del mosaico de la coliflor en varias hortalizas, como la coliflor, el brócoli, la col y la colza. Una preocupación es que el promotor CaMV podría ser dañino si nos invadiera los cellulos y nos activara los genes.

Tendrían que producirse múltiples acontecimientos escalonados para que el promotor CaMV escapara del proceso normal de descomposición digestiva, penetrara en una célula del organismo y se insertara en un cromosoma humano. Si bien no se han realizado pruebas para determinar si el promotor CaMV ha invadido tejidos humanos, los experimentos con ratones indican que las defensas normales del organismo eliminan los fragmentos dispersos de DNA extraño que se escabullen en el torrente sanguíneo desde el tubo digestivo (Byrne *et al.*, 2002). A menudo se ha mencionado la investigación sobre la presencia de DNA de plásmidos en el arroz efectuada por Kohli *et al.* (1999) como prueba de que el promotor CaMV se puede insertar en hebras de DNA. Kohli *et al.* no estudiaron el comportamiento del promotor CaMV en las células humanas o de animales. Sin embargo, Powell (1999) sugiere que no es probable que el promotor CaMV se inserte por sí solo en otros genomas.

- **Alteraciones de las propiedades nutritivas**

Éste es un aspecto importante sobre el cual probablemente se efectuarán numerosas investigaciones en el futuro, cuando se comercialicen alimentos específicamente modificados para mejorar la calidad nutricional.

Los estudios completados hasta la fecha no aclaran el interrogante de si las soyas RoundupReady tienen las mismas cantidades de nutrientes que las variedades tradicionales. Las investigaciones parecen indicar que las cantidades de isoflavonas (compuestos que se han estudiado bastante pues se cree que desempeñan una función importante en la prevención de cardiopatías y cáncer de mama) en las soyas cambian en respuesta a varios factores. La aplicación de Roundup puede



provocar un efecto, pero no está claro si el cambio resultante es un aumento o una disminución de las cantidades de isoflavonas. Lappé *et al.* (1999) (citado en Byrne *et al.*, 2003), en su estudio sobre las soyas tolerantes a los herbicidas, informaron que las soyas RoundupReady que investigaron contenían 12-14 por ciento menos isoflavonas que las soyas no modificadas. Por otra parte, también se ha señalado que las soyas RoundupReady contienen cantidades anormalmente elevadas de isoflavonas, suficientes para causar cáncer uterino en ratones (Byrne *et al.*, 2003). Si esto fuera cierto, las soyas RoundupReady serían "malsanas" por la razón opuesta: demasiadas en lugar de muy pocas isoflavonas, que esperamos que prevengan el cáncer y las cardiopatías. Otra investigación acerca del empleo de herbicidas en las legumbres menciona a menudo como el herbicida Roundup puede afectar las cantidades de isoflavonas presentes en los granos (Sandermann y Wellmann, 1988). Los investigadores informaron que encontraron mayores cantidades de isoflavonas en todos los tejidos de las plantas que estuvieron expuestas a Roundup. La magnitud del cambio parece ser pequeña o moderada en comparación con la variación natural de las cantidades de isoflavonas (Byrne *et al.*, 2003).

Los estudios auspiciados por la industria y presentados en apoyo de solicitudes de autorización para vender cultivos transgénicos indican que los componentes nutricionales comúnmente investigados son similares en los alimentos transgénicos y los alimentos tradicionales. Trabajos publicados por algunos investigadores contratados por Monsanto indican que las soyas RoundupReady contienen las mismas cantidades de isoflavonas encontradas en las soyas tradicionales (Padgett *et al.*, 1996).

Aparte de la cuestión de las cantidades de isoflavonas, el valor nutricional de las soyas RoundupReady parece similar al de las soyas tradicionales. Los experimentos con ratas, pollos, bagres y vacas lecheras (Hammond *et al.*, 1996) indican que los animales comen la misma cantidad de alimentos y aumentan de peso ya sea que la soya de sus alimentos sea tradicional o transgénica.

- **Toxicidad por el aumento predecible del uso de herbicidas debido al uso de plantas tolerantes a ellos**

El glifosato o Roundup que es uno de los herbicidas más utilizados en la agricultura química puede dejar como resto en las plantas el formaldehído, compuesto neurotóxico y cancerígeno. La soya transgénica es principalmente tolerante al Roundup.



7.2.2 Estudios científicos para evaluar los riesgos de los alimentos transgénicos en la salud humana

En los párrafos anteriores, se refirieron varios estudios científicos publicados sobre algunos de los riesgos potenciales de los alimentos transgénicos, sin embargo, estudios formales sobre la toxicidad de estos alimentos se han hecho muy pocos.

Las publicaciones que tratan sobre la toxicidad de los alimentos transgénicos son escasas. Un artículo en la revista científica *Science* lo resume completamente: "Riesgos de Salud de Alimentos Genéticamente Modificados: Muchas Opiniones pero Pocos Datos". De hecho, no existen publicaciones arbitradas sobre estudios clínicos de los efectos en la salud humana de los alimentos transgénicos (Bourges y Lehrer, 2004; Roig, 2000).

Aunque el debate sobre los alimentos transgénicos se ha instalado fundamentalmente en las prestigiosas revistas científicas *British Medical Journal*, *Lancet*, *Nature* y *Science*, las publicaciones aparecidas en las mismas, salvo algunas excepciones, no corresponden a estudios experimentales o evaluaciones originales sobre los efectos adversos o la potencial toxicidad de los alimentos transgénicos (Roig, 2000).

En la tabla 20 que se muestra a continuación se resumen los estudios toxicológicos llevados a cabo hasta el momento en torno a los riesgos de los alimentos transgénicos sobre la salud humana. La información se basa en la revisión bibliográfica de artículos científicos publicados llevada a cabo por el Dr. Domingo Roig, toxicólogo de la Universidad de Tarragona.

Existen aún más estudios que los que se reportan en el presente apartado. Es recomendable consultar un artículo publicado por el Dr. Arpad Pusztai⁴ quien analiza todos los estudios científicos realizados en relación a la inocuidad de los alimentos transgénicos y los somete a un riguroso escrutinio estadístico y científico.

⁴ Arpad Pusztai, Ph.D., recibió su grado en Química en Budapest y su B.Sc. en Fisiología y su Ph.D. en Bioquímica de la Universidad de Londres. En sus casi 50 años de carrera ha trabajado en universidades e institutos de investigación en Budapest, Londres, Chicago y Aberdeen (Rowett Research Institute). Ha publicado casi 300 artículos científicos arbitrados y escrito o editado 12 libros científicos. En los últimos 30 años ha sido pionero en la investigación acerca de los efectos de las lectinas dietéticas (proteínas que reaccionan con los carbohidratos) en el tracto gastrointestinal, incluyendo aquellas expresadas transgenicamente en los cultivos vegetales genéticamente modificados. Dado que su contrato con Rowett no fue renovado debido a desacuerdos, el Dr. Pusztai ha dedicado su tiempo a dar charlas en todo el mundo sobre sus investigaciones en papas genéticamente modificados y trabaja como consultor para grupos que están comenzando sus investigaciones en los efectos de los alimentos genéticamente modificados sobre la salud.



Tabla 20: Estudios experimentales sobre los riesgos para la salud humana de los alimentos transgénicos. Abarca el período comprendido entre enero de 1980 y mayo del 2000

| Referencia | Producto administrado | Especie animal | Duración del experimento | Observaciones |
|---|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|---|
| Hammond, B.G., Vicini, J.L., Hartnell, G.F. <i>et al.</i> (1996). "The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance". <i>J Nutr</i> , 126 : 717-27. | Soya tolerante a glifosato | Ratas, pollos, vacas, siluros. | 4-10 semanas | Ausencia de diferencias significativas en las concentraciones de importantes nutrientes y antinutrientes. |
| Fares, N.H., El-Sayed, A.K. (1998). "Fine structural changes in the ileum of mice fed on delta-endotoxin-treated potatoes and transgenic potatoes". <i>Nat Toxins</i> , 6 :219-33. | Papas transgénicas | ratones | 2 semanas | Ligeros cambios en la configuración estructural del ileon. |
| Brake, J., Vlachos, D. (1988). "Evaluation of transgenic Event 176 "Bt" corn in broiler chickens". <i>Poultry Sci</i> , 77 : 648-53. | Maíz Event 176 <i>Bt</i> | pollos | 38 días | Ausencia de diferencias significativas en los índices de supervivencia y en los pesos. |
| Onischenko, G.G., Tutel'ian, V.A., Petukhov, A.I., <i>et al.</i> (1999) "Current approaches to the evaluation of genetically modified food products". <i>Vopr Pitan</i> , 68 :3-8. | Concentrados proteicos | ratas | 5 meses | Modificaciones en hepatocitos de soya transgénica (membrana, actividad enzimática). |
| Ewen, S.W.B., Pusztai, A. (1999) "Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing Galanthus nivalis lectin on rat small intestine". <i>Lancet</i> , 354 :1353-4. | Papas transgénicas | ratas | 10 días | Proliferación de la mucosa gástrica |
| Fenton, B., Stanley, K., Fenton, S., Bolton-Smith, C. (1999) "Differential binding of the insecticidal lectin GNA to human blood cells". <i>Lancet</i> , 354 :1354-5. | Lectina GNA | leucocitos humanos | | Enlace de la lectina con proteínas de los leucocitos |

Fuente: Roig, (2000)



Probablemente, ha sido el denominado "affair Pusztai", el episodio que mayor número de comentarios, opiniones y puntos de vista ha generado. En 1998, Arpad Pusztai, investigador del Rowett Institute (Aberdeen, Escocia), dio a conocer a los medios de comunicación generales, antes de ser publicados en revistas científicas, los resultados de estudios en ratas cuya dieta contenía papas modificadas genéticamente. En el artículo publicado por Ewen y Pusztai se mostró que las ratas alimentadas con dietas que contenían papas modificadas genéticamente (lectina *Galanthus nivalis* agglutinin [GNA]), presentaban diversos efectos en diferentes partes del tracto gastrointestinal. Algunos de estos efectos, tales como la proliferación de la mucosa gástrica, fueron atribuidos principalmente a la expresión del transgen GNA (Roig, 2000). Sin embargo, otras partes de la estructura modificada genéticamente o la propia transformación genética (o ambas), pudieron también haber contribuido a los efectos biológicos globales del consumo de papas transgénicas, especialmente en el intestino delgado y el ciego. La publicación de ese artículo fue seguida de una polémica oleada de comentarios críticos al mismo en la prestigiosa revista *Lancet* (Feldbaum, 1999; Lachmann, 1999; Malcom, 1999; Schellekens, 1999; citados en Roig, 2000). En un informe de auditoría conducido por el Rowett Research Institute, en agosto de 1998, un grupo de expertos llegó a la conclusión de que "los datos no sustentan cualquier sugerencia acerca de que el consumo de las papas transgénicas tiene un efecto sobre el crecimiento, desarrollo de órganos o la función inmune de las ratas alimentadas con papas transgénicas". El informe, así como los científicos incluidos en la investigación relacionada, están convencidos firmemente de que los experimentos de Pusztai han de repetirse con mayor rigor científico y han de ser validados con los métodos estadísticos establecidos. La última referencia experimental detectada en la presente revisión ha sido la correspondiente al estudio llevado a cabo en leucocitos humanos para establecer los efectos de la lectina GNA. Los investigadores llegaron a la conclusión de que la lectina GNA podía enlazar fuertemente con numerosas proteínas de los leucocitos (Roig, 2000). Las posibles consecuencias de este hallazgo llevaron también a esos investigadores a recomendar que los potenciales efectos sobre la salud de los alimentos que contienen GNA debían ser rigurosamente evaluados, antes de su posible paso a la cadena alimentaria. Los resultados de ese estudio fueron criticados en cartas al editor (Munro, 1999; Kilpatrick, 1999; citados en Roig, 2000).



7.1.3 Casos documentados de daños a la salud humana por consumo de alimentos transgénicos

Hasta el momento no existe ningún caso documentado de daños a la salud humana por consumo de alimentos transgénicos. Sin embargo, se pueda discutir el caso muy controvertido del maíz Starlink, del cual ya se ha comentado.

Los Centros para el Control de Enfermedades (CDC) en Estados Unidos investigaron las reclamaciones de 51 personas que habían sufrido reacciones alérgicas poco después de comer productos de maíz, pero llegaron a la conclusión de que ninguno de los síntomas informados podía ser atribuido a la proteína StarLink. Sin embargo, cabe destacar que este maíz nunca fue aprobado para consumo humano y que llegó a distribuirse entre los consumidores por error, como ya se ha discutido anteriormente.

7.2 Riesgos en el medio ambiente

7.2.1 Efecto de los OGMs en el medio ambiente

La experiencia adquirida a lo largo de decenios de estudios sobre los efectos ambientales indica que es posible que pasen años o decenios antes de que se comprendan las consecuencias de los nuevos elementos biológicos en los ecosistemas. Predecir como los organismos pueden comportarse en un hábitat es extremadamente dificultoso. Pequeños cambios genéticos pueden generar grandes cambios ecológicos (Álvarez-Buylla, 2003).

El 16 de octubre de 2003 el gobierno británico y la Royal Society publicaron los resultados del "Farm Scale Evaluation", extensos estudios llevados a cabo a lo largo de tres años por un comité científico independiente en los que se evaluó el efecto en la biodiversidad de los herbicidas aplicados en cultivos modificados genéticamente comparándolos con el efecto de los herbicidas utilizados en los cultivos tradicionales (Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2003; Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación, 2003_d). Estos estudios dejaron de manifiesto la dificultad que presenta la predicción del efecto de los cultivos transgénicos en la biodiversidad

Para elaborar dicho estudio, alrededor de 60 campos fueron cultivados con maíz, remolacha y colza. La mitad de cada campo fue sembrada con variedades convencionales y la otra mitad con variedades



genéticamente modificadas en las que se controlaban las malas hierbas con un herbicida (glufosinato de amonio para maíz y glifosato para la remolacha). El impacto en la biodiversidad fue tomado mediante la observación de los niveles de malas hierbas y de invertebrados, tales como abejas y mariposas, tanto en los cultivos de variedades convencionales como en los genéticamente modificados, y también en los márgenes próximos a ambos.

Un total de ocho documentos han sido publicados tras este estudio: Dos sobre los efectos en las plantas silvestres, dos sobre los efectos en los invertebrados, uno sobre el efecto en plantas silvestres e invertebrados en los campos de los márgenes, uno que contrasta los herbicidas, otro que profundiza en las razones que llevaron a realizar este estudio y la elección de su diseño, y un documento final que provee a los lectores de un contexto general para que analicen las conclusiones (Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación, 2003_d).

Los efectos encontrados son los siguientes: en las variedades no transgénicas de remolacha y de colza hubo más diversidad biológica (en particular abejas y mariposas, así como las especies de aves que se alimentan sobre éstas), en general, que en sus contrapartes transgénicas, en tanto que en el maíz ocurría lo contrario: mayor diversidad en el maíz transgénico que en el convencional. Pero ello es debido, dicen los investigadores, a las diferencias en flora espontánea (malas hierbas) en los campos del ensayo: a más flores, mayor cantidad de insectos.

7.2.2 Riesgos potenciales

A continuación se describen los riesgos potenciales sobre el medio ambiente asociados a los OGMs

7.2.2.1 Flujo génico

La transferencia de material genético desde los cultivos a otras plantas, que pueden presentar nuevos caracteres a su vez en su progenie se conoce como "flujo de genes" (Pengue, 2000). En términos generales, este flujo en la población vegetal se puede referir a la introducción de genes vía polen (vía sexual), semillas o propágulos (estructuras vegetativas como tubérculos, rizomas, rosetas, bulbos y bulbillos)⁵.

⁵ Existen otros mecanismos de transferencia como el "flujo horizontal" entre individuos adultos mediante propágulos, bacteria, virus, de mucho menor relevancia, o por lo menos, con menor base bibliográfica. Se discutirá al respecto de este tema más adelante.



La dispersión de polen es el mecanismo más conocido (estudiado) y es diferente para cada especie cultivada o silvestre, pero dentro de una misma especie, la dispersión polínica de las plantas transgénicas es muy similar a la de sus contrapartes no transgénicas (Álvarez-Buylla, 2003). Muchos factores influyen en las posibilidades de que se produzca el flujo de genes de un cultivo a otro. Algunos cultivos son muy propensos a la fecundación cruzada, tal es el caso del maíz. Otras especies, como el trigo y la cebada, son muy autógamas y no se produce la fecundación cruzada. En las especies de cultivos donde existe la fecundación cruzada, muchos factores ambientales influyen en la distancia máxima de polinización, como el tamaño de los granos de polen, la humedad en el aire y la velocidad del viento (Byrne *et al.*, 2002).

En el caso de los transgénicos, la mayor preocupación es que los transgenes se incorporen en las poblaciones de parientes silvestres de los cultivos objeto de la Biotecnología. En una revisión reciente, Ellstrand *et al.* (1999) (citado en Álvarez-Buylla, 2003), presentaron evidencia clara y extensa de la ocurrencia de hibridación espontánea entre la gran mayoría de los cultivos y sus parientes silvestres. En algunos casos se documenta la producción de malezas, con consecuencias devastadoras, como producto de la hibridación (Ellstrand, 2001; citado en Álvarez-Buylla, 2003). Por otro lado, se dispone ya de varios casos documentados de flujo de transgenes a variedades para las cuales no fueron diseñados. Éste es el caso, por ejemplo, de la canola (Hall *et al.*, 2000; citado en Álvarez-Buylla, 2003). Estos casos y otros apuntan hacia el hecho de que la contención de transgénicos será prácticamente imposible una vez que se comercialicen o desregulen (Hodgson, 2002; citado en Álvarez-Buylla, 2003), a menos de que se desarrollen métodos muy eficientes para su contención. Las probabilidades de que se propaguen 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. La soya y el trigo son cultivos autógamos, por lo tanto es pequeño el riesgo de que el polen transgénico se traslade a malezas cercanas. No obstante, ese pequeño riesgo se incrementa debido a que existen parientes silvestres del trigo en Estados Unidos. No hay parientes silvestres de la soya en Estados Unidos, pero sí existen esos parientes en China (Byrne *et al.*, 2002).

La importancia real del flujo de genes en el caso de los cultivos transgénicos tendrá relación con:

- El grado de cruzamiento entre el cultivo y sus parientes presentes en el área.
- La posibilidad de producción de descendencia fértil.
- La retención de los caracteres de los cultivos transgénicos en la población base.



- La viabilidad del polen disponible, su disposición y distancia.
- La presencia de insectos polinizadores o condiciones ambientales propicias.
- Coincidencia temporal entre la producción de polen de la planta transgénica y disponibilidad y apertura de las flores femeninas de la planta silvestre.

7.2.2.2 Consecuencias del flujo génico

- **Erosión genética**

El término de erosión genética se refiere a la pérdida de biodiversidad (Pengue, 2000). Los centros de diversidad son esenciales para la supervivencia y seguridad alimentaria mundial porque las especies silvestres proveen el material genético bruto para la búsqueda de nuevos caracteres y su adición mediante mejoramiento genético. Si la diversidad tanto de los cultivos como de sus especies emparentadas no es asegurada, mucho de este material bruto no estará disponible para el mejoramiento y probablemente se perderá⁶.

En la mayoría de los casos, la introducción de nuevos alelos por flujo génico aumenta la diversidad genética local, al menos temporalmente. Las circunstancias en las cuales la introducción de un alelo puede reducir la diversidad génica son restringidas. Pero esto puede ocurrir si este alelo confiere ventajas adaptativas importantes y si la selección natural en su favor y en contra de otras variantes alélicas nativas es muy grande (Álvarez-Buylla, 2003).

- **Generación de malezas por resistencia a herbicidas y plagas**

Existe evidencia abundante de que los cultivos mejorados por prácticas tradicionales para resistir a plagas y enfermedades pueden hibridizarse con sus parientes silvestres y propiciar la evolución de malezas más competitivas. En el caso de plantas transgénicas con modificaciones que proporcionan resistencia a plagas que no se encuentran en los parientes silvestres, el flujo de transgenes puede tener un valor selectivo distinto, en parte porque en estos casos no existe una historia coevolutiva entre el cultivo y la plaga o patógeno. En el caso de transgenes que proporcionan resistencia a herbicidas, en principio no se esperaría ninguna ventaja adaptativa del portador en un ambiente natural en el que no se utiliza el herbicida. Sin embargo, en muchos casos los cultivos y sus

⁶ Es por ello que ha sido necesario la creación de los llamados "bancos de germoplasma". El germoplasma vegetal es todo tejido vivo constituido por células germinales portadoras de caracteres hereditarios a partir de la cual se puede obtener un nuevo individuo. En los bancos de germoplasma existen diversas categorías de germoplasma tales como los cultivares modernos, cultivares obsoletos, cultivares primitivos, variedades silvestres y emparentadas, y cruzamientos locales producto de la actividad del hombre a través de siglos de selección en las áreas de cultivo tradicional (Pengue., 2000).



parientes silvestres se distribuyen en el mismo ambiente o en su proximidad. En estos casos, la transferencia de tolerancia a herbicidas puede hacer plantas silvestres difíciles de controlar, como en el caso de los parientes silvestres de las plantas cultivadas (Hall *et al.*, 2000; citado en Álvarez-Buylla, 2003).

La evolución de malezas más competitivas puede ser propiciada también por especies resistentes o tolerantes a ambientes salinos, alcalinos, al frío, a los suelos anegados, u otras situaciones de ambientes bajo distintos estrés.

Para el caso particular del maíz, la introducción de resistencia a herbicidas podría ser problemática en sitios en donde el teosinte se considera maleza y se controla con el herbicida en cuestión. En este caso, la inserción del transgen de resistencia en el teosinte llevaría a la evolución de una maleza difícil de manejar. Algo similar podría ocurrir con la resistencia a plagas por la expresión de la proteína Cry, cuya toxicidad depende de la especie de insecto y de la variante proteica utilizada (Sears *et al.*, 2001; citado en Álvarez-Buylla, 2003).

- **Esterilidad masculina**

Como ya se explicó, existen estrategias genéticas para evitar la transferencia de genes. Estas estrategias incluyen la introducción de esterilidad masculina y por lo tanto, se corre el riesgo de pérdida de biodiversidad en caso de que exista flujo de genes de esterilidad masculina de la planta transgénica con hacia plantas no transgénicas.

- **Evolución de insectos resistentes y generación de nuevas plagas**

En condiciones naturales, la resistencia de las plantas a los insectos que las consumen es resultado de un proceso dinámico que ha evolucionado por muchos millones de años. Generalmente ocurre una carrera coevolutiva entre las poblaciones de plantas y las poblaciones asociadas de insectos en las que se seleccionan los individuos que superan los mecanismos de resistencia de las plantas. Esto promueve la evolución de nuevos mecanismos de resistencia en las plantas, y a su vez nuevas variantes de insectos resistentes, y así sucesivamente. Este patrón también ocurre entre las plantas cultivadas y sus plagas, y es probable que también ocurra de manera similar en la mayoría de los casos en los que se generalice el uso de cultivos que expresan la proteína Bt (Álvarez-Buylla, 2003). El *B. thuringiensis* se ha usado como insecticida microbiano, incluso en agricultura orgánica, por más de 30 años. Debido a que se degrada relativamente rápido en el ambiente, los insectos se ven expuestos de manera limitada y es quizá por esta razón que no se ha registrado resistencia al Bt usado de esta forma. Sin embargo, para el caso de los transgénicos que expresan esta toxina, la



aparición de plagas resistentes a *Bt* puede ser más factible si no se usan las prácticas adecuadas. Esto se debe a que el uso de los transgénicos que expresan *Bt* puede llegar a ser indiscriminado y la exposición de la plaga a la toxina puede llegar a ser mucho mayor y más directa que la experimentada en las prácticas orgánicas. La generación de resistencia sería negativa porque se perdería, además de la efectividad de los cultivos *Bt*, la posibilidad de utilizar este insecticida biológico (Gould, 1998; citado en Álvarez-Buylla, 2003).

Por esa razón se han desarrollado varias prácticas para disminuir la velocidad con la que se seleccionan insectos resistentes a las toxinas producto de la modificación *transgénica* (Andow, 2002; citado en Álvarez-Buylla, 2003). Estas prácticas incluyen la utilización de zonas de refugio en las que se cultivan plantas sin transgenes; la generación de nuevas variedades de la toxina para evitar que se fije la resistencia en los insectos a una variedad particular, y la precaución de no introducir de manera simultánea diferentes genes de resistencia a plagas en la misma variedad agrícola para que la presión de selección sobre las plagas no las lleve a fijar resistencia a varias toxinas diferentes. También se han practicado rotaciones de cultivos resistentes y no resistentes para evitar una presión de selección constante sobre los insectos e impedir así que desarrollen resistencias. Es importante enfatizar que el éxito en el uso de las plantas *Bt* depende del uso de un plan integral de manejo de plagas que es muy poco factible que se implemente en países como México (Álvarez-Buylla, 2003).

- **Efectos no esperados**

Los descendientes de plantas transgénicas que de manera no intencional han polinizado plantas para las cuales no fueron diseñados los genes introducidos por la técnica de DNA recombinante, pueden tener consecuencias no esperadas. Por ejemplo, la expresión de toxinas puede dañar a insectos que no son plagas y sí son benéficos.

El caso más estudiado corresponde al posible efecto nocivo de la toxina *Bt* en la mariposa monarca. Losey *et al.*, (1999) (citado en Álvarez-Buylla, 2003) presentaron evidencia de que el polen de maíz transgénico depositado sobre las hojas de las asclepias de las que se alimentan las larvas de la mariposa monarca, afectaba significativamente la sobrevivencia y crecimiento de las larvas de esta mariposa en condiciones de laboratorio, y ellos mismos reconocieron la necesidad de hacer estudios de campo. Como respuesta a este trabajo, muchos otros investigadores exploraron los efectos del polen de maíz *Bt* en las larvas de la mariposa monarca y otras, tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones naturales (Hellmich *et al.*, 2001; Oberhauser *et al.* 2001; Sears *et al.*, 2001; Stanley-Horn *et al.*, 2001; Zangerl *et al.*, 2001; citados en citado en Álvarez-Buylla, 2003). No faltaron las controversias: en algunos casos se descubrieron efectos sobre el crecimiento y la



sobrevivencia de algunos estadios larvarios, aunque en otros estudios no se observaron diferencias significativas con estos parámetros entre las larvas expuestas a polen de maíz *Bt* y los controles. El resultado general más importantes es que los efectos dependen de los niveles de exposición y del evento del que se trate (de la variedad específica de *Bt*), y los niveles de exposición que se esperan en el campo son muy bajos.

Además de los efectos sobre organismos no blanco, se espera que la introducción de un gen tenga efectos múltiples, algunos no esperados y dependientes del ambiente en donde crece una planta. A los efectos colaterales de los genes se les conoce como pleiotrópicos y ocurren por lo general en los genomas de todos los organismos. Saxena y Stotzky (2001) (citado en Álvarez-Buylla, 2003) compararon diferentes híbridos de maíz *Bt*; correspondientes a tres eventos transgénicos distintos, con sus respectivas líneas isogénicas relacionadas con el contenido de lignina. Encontraron en el tallo de las plantas de maíz transgénico un contenido de lignina significativamente mayor (33-97 por ciento) que sus respectivas líneas isogénicas. Los autores analizan una serie de implicaciones ecológicas que esta característica, producto de interacciones genéticas, podría acarrear al ambiente. Algunas son potencialmente benéficas, como la mayor resistencia mecánica de los tallos o el efecto positivo de la lignina sobre la materia orgánica del suelo y el control de la erosión. Otras son potencialmente nocivas, como la mayor permanencia de la proteína tóxica en el suelo y la baja digestibilidad del maíz transgénico usado como forraje.

- **La resistencia a los antibióticos**

También existe inquietud por la posibilidad de que las plantas transgénicas cultivadas en el campo transfieran sus genes de la resistencia a los antibióticos a microorganismos del suelo, con lo cual se produciría un aumento general del grado de resistencia a los antibióticos en el medio ambiente.

Muchos organismos del suelo tienen resistencia natural como defensa contra otros organismos que generan antibióticos. Investigadores europeos Smalla *et al.*, (1993) (citado en Byrne *et al.*, 2003) analizaron muestras de agua de ríos, estiércol porcino aguado, fango de aguas cloacales municipales y suelo e informaron que el *nptII*, el gen de la resistencia a los antibióticos usado con más frecuencia en las plantas transgénicas, estaba presente en los ríos, el estiércol y las aguas cloacales antes de que se difundiera el cultivo de las plantas transgénicas. Algunos expertos piensan que la resistencia a los antibióticos está tan difundida en la naturaleza que toda contribución adicional de las plantas transgénicas sería insignificante (Smalla *et al.*, 2000; citado en Byrne *et al.*, 2003). Estudios recientes (Osterblad *et al.*, 2001; Routman *et al.*, 1985; citados en Byrne *et al.*, 2003) sobre la prevalencia de la resistencia a los antibióticos en las bacterias intestinales de animales



silvestres indican que los mamíferos (alce, venado, ratones campestres, mandriles) que habitan zonas aisladas del hombre no albergan bacterias resistentes, mientras que los mamíferos que viven en zonas pobladas por el hombre sí las tienen. Es preciso investigar más a fondo al respecto.

- **Posible impacto de nuevos desarrollos en maíz, aún no desregulados, que producen fármacos y sustancias de uso industrial**

Dadas las medidas de regulación actuales en Estados Unidos, es posible pensar que puede haber escapes de los campos de prueba de las variedades no desreguladas utilizadas como biorreactores⁷ (APHIS, 1997; National Academy of Sciences, 2002; citados en Álvarez-Buylla, 2003). Por tanto, la contaminación de las razas locales de maíz en México o en cualquier otro sitio con genes que codifican para la producción de sustancias tóxicas, es probablemente el asunto más preocupante ligado al flujo génico de variedades transgénicas de maíz y de sus consecuencias para la biodiversidad, pero también para la salud humana.

7.2.2.3 Otras consecuencias independientes del flujo génico

- **Acumulación de DNA desnudo en el ambiente: ¿desecho biotóxico?**

Algunos investigadores han manifestado su preocupación por la acumulación en el ambiente de desechos de la Biotecnología en forma de DNA desnudo (secuencias amplificadas muchas veces por la reacción en cadena de la polimerasa, agregaciones de secuencias que no se encuentran juntas naturalmente y se generan por la técnica de DNA recombinante, plásmidos y otros vectores, etc.) debidos a escapes no intencionales de laboratorios o plantas biotecnológicas. Pero también puede acumularse DNA recombinante después de que los organismos transgénicos liberados al ambiente (maíz transgénico, por ejemplo) se mueren. Estos dejarán en el ambiente grandes cantidades de DNA desnudo recombinante después de muertos e incluso después de su degradación. Hay evidencia de que los ácidos nucleicos pueden retener actividad biológica mucho después de la muerte de los organismos (Lorenz y Wackernagel, 1994; Nielsen *et al.*, 1998; citados en Byrne *et al.*, 2002).

⁷ Un escándalo de escape de genes transgénicos se desató en Estados Unidos en octubre del 2002 luego de que se hiciera público que la FDA ordenó destruir 500 mil bushels (aproximadamente 17 mil 600 metros cúbicos) de soya, porque se podría haber mezclado con unos cuantos granos de maíz modificado genéticamente para producir una sustancia no comestible, posiblemente una vacuna veterinaria. El descubrimiento se hizo en Nebraska, donde un agricultor plantó unas cuantas hectáreas de este maíz farmacéutico por encargo de la empresa Prodigene. Algunas plantas de maíz que quedaron en su terreno rebrotaron cuando ya había plantado una cosecha posterior de soya. Luego cosechó todo junto inadvertidamente, y lo envió a un silo donde se mezcló con la producción de muchos otros agricultores (Álvarez-Buylla, 2003).



Este tema está íntimamente ligado con la resistencia a antibióticos por la posibilidad de que estos ácidos nucleicos, producto de la tecnología del DNA recombinante y novedosos para la naturaleza tanto por su calidad como por su cantidad, sean incorporados por bacterias o virus (transferencia horizontal).

- **La filtración de proteínas transgénicas en el suelo**

Muchas plantas derraman compuestos químicos en el suelo a través de sus raíces. Hay inquietudes de que las plantas transgénicas pudieran derramar compuestos diferentes de los de las plantas tradicionales, como una consecuencia no buscada de su DNA modificado. La especulación de que pudiera estar sucediendo esto genera la preocupación de que puedan resultar afectadas las comunidades de microorganismos que viven cerca de las plantas transgénicas. La interacción entre las plantas y los microorganismos del suelo es muy compleja y los microorganismos que viven alrededor de las raíces también dejan escapar compuestos químicos al suelo (Byrne *et al.*, 2002). Las raíces del maíz *Bt* dejan escapar la toxina *Bt* al suelo y se sabe que esta toxina se une a ciertos componentes del suelo, donde puede permanecer por más de 200 días, protegida de la degradación y manteniendo su capacidad de matar las larvas de insectos (Saxena *et al.*, 1999; citado en Byrne *et al.*, 2002) No se sabe si la fuga proveniente de las raíces llevará a largo plazo a una acumulación de la toxina *Bt* en el suelo de los campos de maíz, ni cómo podría afectar esto a microorganismos o insectos que viven en el suelo a los cuales no se pretende perseguir.

Algunos estudios han intentado describir las condiciones de suelos donde se producen cultivos transgénicos. En un estudio canadiense (Dunfield y Germida, 2001; citado en Byrne *et al.*, 2002), un análisis de los ácidos grasos que se asocian con ciertos tipos de microorganismos del suelo indicó que las raíces de las plantas transgénicas tal vez alberguen concentraciones más elevadas de ciertos microorganismos, pero es esencial realizar otras investigaciones para determinar si esto es cierto.

7.3 Impactos socioeconómicos

7.3.1 La Biotecnología y su alineación como industria estratégica

Para el análisis de los posibles impactos socioeconómicos de los alimentos transgénicos, resulta importante comenzar retomando la tesis crítica sobre desarrollo tecnológico capitalista, donde se describe que la modernidad es inaugurada por el capitalismo. Según esta tesis, la promesa de la modernidad de producir en abundancia y poner fin a la escasez es estructuralmente traicionada al



subordinar y reconfigurar la lógica de la tecnología en beneficio de los capitalistas, quienes viven de ello al imponer un cierto tipo de tecnología y ritmo de socialización de la misma.

Así, en busca siempre de la acumulación creciente de capital y en respuesta a la constante necesidad de redinamización de la tendencia decreciente de la tasa de ganancia, los capitalistas se han aferrado a un cierto tipo de tecnología sin importar el grado de conocimiento y capacidad de manejarla. Ello ha provocado que tal tecnología presente una serie de riesgos potenciales, como es el caso de la energía atómica y de la Biotecnología misma.

El desarrollo de la Biotecnología como parte fuerte del actual patrón tecnológico se viene perfilando como una industria estratégica porque permite, por un lado, abrir un nuevo cauce de generación de ganancias y de redinamización de la acumulación de capital. Pero también, causalmente, permite modificar todas las relaciones productivas, financieras y otras (Delgado, 2002). El papel de la Biotecnología en este siglo es central, porque impacta crecientemente en un gran número de procesos productivos, que van de la industria agrícola, ganadera y pesquera, a la industria farmacéutica y de cosméticos, a nuevos materiales como plásticos y lubricantes, entre otros.

Sin embargo, el desarrollo biotecnológico viene presentando un fin capitalista claro, y en contraparte, significa un peligro social. El caso de las aplicaciones biotecnológicas más importantes, determinadas por su dimensión y grado de desarrollo, como pueden ser los alimentos transgénicos, están reestructurando las relaciones sociales de producción y de los propios capitales.

Por lo anterior, resulta fundamental entender el mecanismo mediante el cual la industria biotecnológica viene perfilándose. Si observamos el actual proceso de metamorfosis entre uno y otro patrón tecnológico⁸, se trata de un despliegue bastante intrincado.

Podemos identificar, además de los capitales propiamente biotecnológicos, aquellos que se denominan "contaminadores"; estos últimos se pueden agrupar en:

- a) Capitales que ya tienen una fuerte inversión previa y que tienen que esperar a recuperarla para pensar en cambiarse de patrón tecnológico.
- b) Capitales en los que, dadas sus particularidades, tal metamorfosis implica un riesgo sobre sus ganancias que resulta demasiado peligroso, por lo tanto, se aferran a tal o cual tecnología.
- c) Capitales contaminantes hegemónicos fuertemente involucrados en el desarrollo de este nuevo patrón tecnológico

La correlación de fuerzas de los actuales capitales involucrados en el desarrollo de la Biotecnología, determinada según sus estructuras geopolíticas y geoeconómicas⁹, establece el tipo de Biotecnología

⁸ Un patrón tecnológico se refiere a las tecnologías previas a las biotecnológicas, la mayoría de ellas "contaminantes". Otro patrón tecnológico, "el nuevo", se refiere específicamente a las tecnologías "no contaminantes", "amigables con el medio ambiente", entre ellas la Biotecnología.



a socializar, siempre y absolutamente bajo el velo de la ganancia y los intereses mediatos y exclusivos de los grupos capitalistas hegemónicos

Desde ahí es que se puede entender por qué la Biotecnología busca el desarrollo de características que permitan:

- Aumentar el período de vida de la mercancía durante el período de su realización en el mercado.
- La reducción de los gastos en insumos como los insecticidas, abonos y fuerza de trabajo.
- Tecnologías que permitan un control total de la producción semillas-agroquímicos-alimentos.

Esta dinámica que está imponiendo la tecnología capitalista de principios de siglo seguramente se agudizará conforme la crisis ecológica lo haga, por lo que se juega de fondo es la necesidad más importante del hombre: el alimento.

Contradictoriamente, con lo que se pensaría de entrada, lo más preocupante del desarrollo agrícola actual es que el número de personas que tendrán acceso a la alimentación decrecerá como resultado de la concentración de la industria que, gracias a este desarrollo tecnológico y al papel empresarial que han jugado los organismo internacionales, ha logrado controlar crecientemente la seguridad alimenticia del planeta.

Dentro de dicho contexto, el papel del Banco Mundial, y sobre todo de la Organización Mundial del Comercio (OMC) es central. El objetivo fundamental de la OMC no ha sido otro que el de liberalizar el comercio de la agricultura, la reestructuración de la producción a través de semillas y ganado genéticamente modificado y la distribución de los alimentos en todo el mundo.

La política de la OMC está sobre todo organizada alrededor de los intereses de las compañías multinacionales¹⁰ que dominan el comercio internacional. Los países de los que provienen dichas empresas hacen uso de la OMC para dismantelar todas las regulaciones de las demás economías nacionales, lo que viene destruyendo su capacidad interna de producción de alimentos, de

⁹ Estas estructuras están basadas generalmente en la vinculación entre las universidades o centros de investigación y enseñanza, las compañías multinacionales y el Estado mismo.

¹⁰ El papel de las compañías multinacionales es fundamental. Debido a que las expectativas del desarrollo científico en ingeniería genética/biotecnología son impredecibles, los capitales involucrados buscan diversificarse para construir y asegurar su hegemonía no sólo en el campo de la investigación, sino además, necesaria y simultáneamente, en el mercado mundial. En consecuencia, se ha venido conformando una serie de fusiones, adquisiciones totales o parciales, o simplemente alianza de empresas (como con las que comparten patentes, universidades, institutos de investigación públicos y privados) para coordinar el desarrollo científico-tecnológico-industrial nacional correlacionado en el nivel internacional. Este proceso de megafusiones está llevando a la formación de los llamados "gigantes", que al presentarse en el mercado mundial como pequeñas o grandes empresas o compañías multinacionales dispersas e independientes, diluyen la percepción de su creciente poderío.



reproducción de sus comunidades y de su ambiente natural. No es casual que el ex presidente de Estados Unidos, Ronald Regan, colocara en 1986 a Daniel Amstutz, ejecutivo de la gigante semillera Cargill Company, como jefe negociador en lo referente a cuestiones de agricultura durante la ronda de Uruguay del Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT), hoy OMC (Delgado, 2002). Así, con los altos subsidios de la agricultura estadounidense (seguidos por los de la Unión Europea) y con las presiones ejercidas por la OMC para imponer un porcentaje mínimo de importaciones de alimentos básicos, Estados Unidos ha logrado colocarse como el granero del mundo al abastecer dos terceras partes del mercado mundial de cereales. Para Cargill y demás empresas estadounidenses, los grandes subsidios por parte del Estado, que bajen los precios nacionales de los productos agrícolas, les permiten entrar a cualquier mercado del mundo y saturarlo de granos por debajo del precio internacional o regional.

7.3.2 El sistema de patentes y los derechos de propiedad intelectual

Según Altieri (1996) (citado en Altieri, 2003_b) el sistema de patentes y derechos de propiedad intelectual intrínseco al Comité de la Propiedad Intelectual (OCI)¹¹ no solamente provee a las corporaciones multinacionales del derecho de tomar y patentar recursos genéticos, sino también acelerarán la tasa a la cual las fuerzas del mercado ya que alientan el monocultivo con variedades transgénicas genéticamente uniformes.

El mercado transgénico se apoya en la obtención de patentes y en el cobro de derechos sobre la utilización de las semillas. Cada microorganismo de la tierra y cada fracción de su genoma es una patente posible y una victoria comercial. El valor de estas transacciones se mide en millones de dólares al año y en ellas están involucradas principalmente las compañías multinacionales de las cuales ya se ha hablado (Delgado, 2002).

De acuerdo con la ley canadiense de patentes, en los Estados Unidos y en muchos otros países industrializados, es ilegal que los agricultores reutilicen semillas patentadas, aunque provengan de su propia cosecha, por lo tanto, el sistema actual de patentes puede exponer al agricultor a demandas

¹¹ Como resultado del GATT, los derechos de propiedad intelectual (TRIPS), el instrumento internacional más importante en materia de propiedad intelectual (Solleiro, 2004), dieron lugar a la formación del Comité de la Propiedad Intelectual que entró en vigor en 1995, exceptuando el artículo 27.3 (b), el cual aún está pendiente (Delgado, 2002). Este artículo señala: "los miembros podrán excluir, asimismo, de la patentabilidad las plantas y animales, excepto los microorganismos y los procedimientos esencialmente biológicos, que no sean procedimientos no biológicos o microbiológicos. Sin embargo, los miembros otorgarán protección a todas las variedades vegetales mediante patentes, mediante un sistema eficaz o mediante una combinación de aquellas y éste. Las disposiciones del presente apartado serán objeto de examen cuatro años después de la entrada en vigor del acuerdo sobre la OMC" (Delgado, 2002). Este sistema obliga a los países signatarios del GATT, entre ellos México, a adoptar legislaciones mínimas de propiedad intelectual respecto de plantas y microorganismos dentro de los siguientes 5 a 15 años.



penales por uso ilícito de bienes privados. Es lo que le ha pasado a Percy Schmeiser, agricultor canadiense, quien ya inscribió su nombre en la historia debido a que es el primer agricultor demandado penalmente por una empresa transnacional (Monsanto) que le acusa de tener en sus campos de cultivo semillas transgénicas de canola resistentes al Round-Up (Cereijo, 2003). A pesar que Schmeiser afirma que no utilizó las semillas transgénicas de la empresa Monsanto ni compró el herbicida que produce y vende esa misma compañía¹², debe pagarle una multa de 10 000 dólares por la licencia y de 75 000 dólares por regalías (veredicto del juez Andrew Mackay, Percy apeló la sentencia, y está esperando la decisión de la Corte Suprema de Justicia de Canadá). Este primer caso del año 2002 ilustra bien el futuro campesino (De Ita, 2002; citado en Universidad Nacional Autónoma de México, 2002_a).

7.3.3 Efectos de los cultivos transgénicos en los agroecosistemas tradicionales

La presencia de diversidad genética, sobre todo en los centros de origen, ha sido de fundamental importancia para conservar y mejorar la productividad de los cultivos agrícolas en los países en desarrollo caracterizados por agroclimas variados y ambientes heterogéneos. Tal diversidad protege a los campesinos frente a enfermedades, plagas, sequías y otras presiones y también les permite explotar toda la gama de agroecosistemas que existen en cada región pero cuyas condiciones difieren en calidad de suelo, altitud, pendiente, disponibilidad de agua, etc. (Altieri, 2003_a). Las variedades nativas de cultivo o variedades tradicionales, son asimismo valoradas por los campesinos debido a los valores culturales que entrañan, por ejemplo, su simbolismo en ceremonias religiosas o su uso en regalos de bodas o como retribución al trabajo comunitario.

Al mismo tiempo, estas variedades tradicionales son sumamente importantes para la agricultura industrializada puesto que contienen una enorme diversidad genética, incluidos los rasgos necesarios para adaptarse a plagas y a cambios en las condiciones climáticas y del suelo; también son relevantes para las formas sustentables de agricultura que mantienen los niveles de rendimiento de las cosechas al tiempo que reducen los insumos externos que suelen ocasionar la degradación ambiental. Las sociedades y organizaciones occidentales consideran las variedades criollas como parte del patrimonio común de la humanidad (Cleveland y Murray, 1997; citado en Altieri, 2003_a).

¹² Los vecinos de Percy Schmeiser y aproximadamente 40 por ciento de los granjeros en el oeste de Canadá cultivan canola transgénica



IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RIESGOS POTENCIALES ASOCIADOS A LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

Por todo lo anterior, existe gran preocupación acerca de si la introducción de variedades transgénicas puede replicar o agravar aún más los efectos de la pérdida de la diversidad genética, y por tanto afectar el tejido cultural de las comunidades. En este contexto, aumentarían los riesgos y los campesinos perderían su capacidad tanto de adaptarse a las condiciones cambiantes del medioambiente biofísico como de producir cultivos relativamente estables con un mínimo de insumos externos al tiempo que atienden la seguridad alimentaria de sus comunidades (Altieri, 2003_a).

La introducción de cultivos transgénicos podría también afectar el equilibrio biológico de las comunidades de insectos en los agroecosistemas tradicionales. Muchos investigadores consideran que estos hallazgos pueden ser preocupantes para pequeños agricultores que dependen del rico sistema de predadores y parásitos asociado a sus sistemas de policultivos para el control de plagas (Altieri, 1994; citado en Altieri, 2003_a). Al verse privados de tales servicios ecológicos, los campesinos pobres tendrán que depender de fertilizantes químicos, con las graves implicaciones económicas que ello entrañaría.

El impacto social de las reducciones en los cultivos locales, como resultado de la uniformidad genética o de cambios en la integridad genética de las variedades locales debido a la contaminación transgénica, puede ser considerable en las zonas marginadas del mundo en desarrollo. En la periferia extrema, las pérdidas en los cultivos significan degradación ecológica, pobreza, desnutrición e incluso hambrunas (Altieri, 2003_a).



8. ETIQUETADO Y ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

Es probable que la cuestión de etiquetar o no los alimentos genéticamente modificados ha sido un tema crítico durante los tres últimos años. Las diferencias entre los puntos de vista de los Estados Unidos y de la Unión Europea con respecto al etiquetado de los OGMs son ilustrativas de algunas de las cuestiones debatidas.

En los Estados Unidos, la ley exige que la información sobre los productos alimenticios sea clara e inequívoca. Las etiquetas tienen por objeto proporcionar información útil, advertir a los consumidores y darles instrucciones. Se estima que toda información adicional engañosa o innecesaria está en contradicción con el derecho de los consumidores a poder realizar una elección sensata y reduce la eficacia de la información esencial de la etiqueta. Si los OGMs no difieren de sus homólogos tradicionales en lo que respecta a la nutrición, la composición o la inocuidad, se considera que el etiquetado es innecesario y tal vez engañoso.

En la Unión Europea, el etiquetado se considera un medio para garantizar el derecho de los consumidores a conocer cualquier aspecto que estimen importante; es un medio de dar a los consumidores la posibilidad de elegir e informarles sobre los OGMs. El criterio de la Unión Europea con respecto al etiquetado trata de llegar a una fórmula de transacción entre los sectores industrial, científico y público. En la Unión Europea, la cuestión no es *si* han de etiquetarse los productos obtenidos por métodos biotecnológicos, sino *cómo* etiquetarlos.

8.1 Argumentos a favor y en contra del etiquetado

Argumentos a favor:

- Los consumidores tienen el derecho a saber lo que hay en sus alimentos, en especial cuando se trata de productos acerca de los cuales han surgido preocupaciones concernientes a la salud y el medio ambiente.
- Las encuestas han indicado que la mayoría de los consumidores apoyan el etiquetado obligatorio. Una encuesta británica en 2001 encontró que 80 por ciento de los consumidores



querían incluso que se usaran etiquetas en la carne de animales criados con alimentos transgénicos (Byrne *et al.*, 2003).

- Por razones religiosas o éticas, muchas personas quieren evitar comer productos de origen animal, incluido el DNA animal.

Argumentos en contra:

- Las etiquetas en los alimentos genéticamente modificados implican una advertencia acerca de efectos para la salud, pero no se han detectado diferencias significativas entre esos alimentos y los alimentos tradicionales (Byrne *et al.*, 2003).
- El etiquetado de los alimentos genéticamente modificados para cumplir los deseos de algunos consumidores impondría un costo a todos los consumidores. El costo del etiquetado implica mucho más que el papel y la tinta para imprimir la etiqueta. Un etiquetado exacto exigiría contar con un extenso sistema de conservación de la identidad desde el agricultor hasta el silo, el procesador de granos, el fabricante de alimentos y el minorista (Maltsbarger y Kalaitzandonakes, 2000; citado en Byrne *et al.*, 2003). Un estudio reciente encargado por el gobierno canadiense estimó que el etiquetado obligatorio exigiría un aumento del 10 por ciento en los precios de los alimentos (Byrne *et al.*, 2003).
- Los consumidores que quieren comprar alimentos que no hayan sido genéticamente modificados tienen una opción, adquirir alimentos orgánicos certificados que, por definición, no pueden incluir cantidades de ingredientes genéticamente modificados que superen los umbrales establecidos. Por otro lado, los consumidores que deseen evitar los productos de origen animal no tienen que preocuparse por los alimentos genéticamente modificados, ningún producto actualmente en el mercado o bajo revisión contiene genes animales (Byrne *et al.*, 2003).
- La infraestructura del sistema alimentario (servicios de almacenamiento, procesamiento y transporte) actualmente no podría dar cabida a la necesidad de segregación de los productos genéticamente modificados y no genéticamente modificados (Byrne *et al.*, 2003).



8.2 La equivalencia sustancial y el etiquetado

Debido a que la política estadounidense actual se basa en el concepto de equivalencia sustancial, es importante definir claramente qué es "equivalencia sustancial".

El concepto de "equivalencia sustancial" fue acuñado en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1996 (aunque ya desde 1993 se habían elaborado trabajos de discusión al respecto; en 1998 aparece el concepto de equivalencia sustancial en un nuevo trabajo de la OCDE), y posteriormente por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2000 (Kuiper y Kleter, 2003; Kuiper *et al.*, 2002; Taylor y Hefle, 2001). Establece que si un nuevo alimento o un nuevo ingrediente del producto final es equivalente a un alimento o a un ingrediente existente en el mercado, entonces el alimento nuevo o el nuevo ingrediente pueden ser tratados de la misma manera que su contraparte convencional. La identificación de la "equivalencia sustancial" no es una evaluación de seguridad en sí misma, sino una aproximación analítica para la evaluación de un alimento nuevo en relación con uno que ya existe y que tiene una larga historia de seguridad en su consumo. Al determinar la "equivalencia sustancial", los elementos críticos que se identifican son los nutrimentos y las sustancias tóxicas que pudiera contener el alimento denominado como "nuevo" o "novedoso".

Entre los factores que han de tenerse en cuenta al comparar un alimento transgénico con su homólogo convencional, según el concepto de equivalencia sustancial, se incluyen los siguientes (Kuiper y Kleter, 2003; Johnson-Green, 2002; Taylor y Hefle, 2001):

- Identidad, origen y composición.
- Caracterización del organismo donador y del organismo receptor.
- Procesos de transformación de DNA y productos de la expresión de la proteína del DNA introducido.
- Estabilidad del gen insertado.
- Nivel de expresión de la nueva proteína.
- Modificaciones en la biodisponibilidad de nutrientes y micronutrientes.
- Modificaciones en el contenido de tóxicos y alérgicos preexistentes.
- Toxicidad y alergenidad de las nuevas proteínas.
- Efectos de la elaboración y la cocción.
- Digestión y metabolismo (las nuevas proteínas en especial, pero no solamente).



- Toxicidad aguda y crónica (el alimento o las nuevas proteínas, aquello que resulte más seguro, y sólo cuando sea necesario)¹

Para la evaluación de la toxicidad y alergenicidad de las nuevas proteínas, según recomendaciones de la FAO y la OMS, se llevan a cabo los siguientes ensayos (Taylor y Hefle, 2001):

- La búsqueda de homologías en secuencias cortas (de por lo menos 8 aminoácidos contiguos) para cada uno de los 200 elementos alergénicos conocidos.
- Estabilidad de proteínas ante la digestión enzimática que se examina por medio de un prueba *in vitro* (simulación de fluido gástrico)²
- Inmunoreactividad con "IgE" (RASTS)³

Si se estima que el alimento derivado de un organismo genéticamente modificado es sustancialmente equivalente a su homólogo tradicional, ha de considerarse que es tan inocuo como éste. Si no es así, deberán realizarse nuevos ensayos, que pudieran requerir la determinación del efecto de la ingestión de los compuestos químicos responsables de dicha diferencia en animales de experimentación, es decir, ensayos de toxicidad aguda y crónica (Gálvez y Díaz, 2000).

Dos institutos de renombre internacional, International Food Biotechnology Council (IFBC) e International Life Sciences Institute (ILSI), diseñaron un árbol de decisión (Fig. 17) para determinar la posible alergenicidad de un alimento genéticamente modificado así como su equivalencia sustancial con su homólogo convencional (Metcalfe *et al.*, 1996). Posteriormente la FAO y la OMS reconocieron la importancia del árbol de decisión (Taylor y Hefle, 2001).

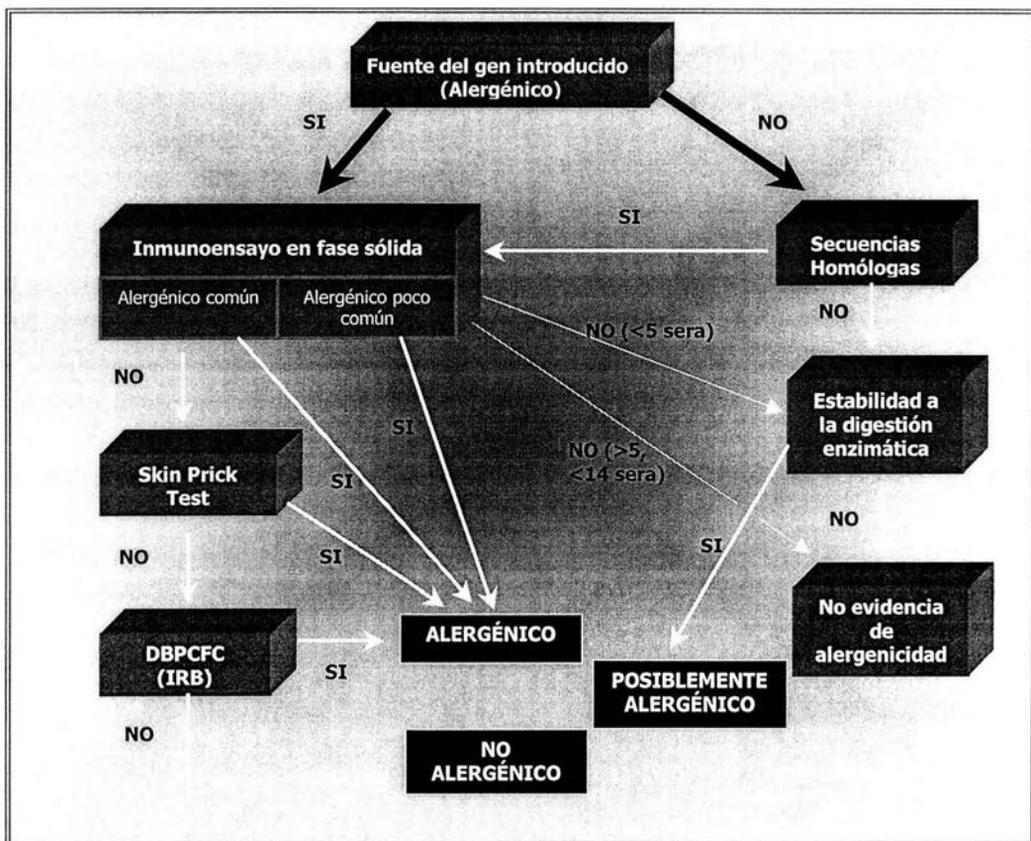
¹ Para este caso, la proteína purificada que pudiera ser tóxica, o bien, el mismo alimento, se inyecta a animales en un rango de dosis determinadas. La salud de los animales es monitoreada, y posteriormente, después de un corto período de tiempo, cuando se evalúa la toxicidad aguda, los animales se matan y se examinan los tejidos requeridos para averiguar si existe alguna lesión interna.

² No existe un protocolo estandarizado y validado (Thomas *et al.*, 2004), sin embargo, recientemente se llevó a cabo la evaluación de un ensayo de digestión enzimática *in vitro* con pepsina. Según los resultados reportados, el método evaluado podría establecerse como un protocolo estandarizado para los ensayos requeridos en la evaluación de la seguridad de las proteínas expresadas en los alimentos genéticamente modificadas. En dicha evaluación participaron nueve laboratorios independientes para determinar la reproducibilidad del ensayo siguiendo un protocolo común. Los laboratorios participantes fueron: ILSE Health and Environmental Sciences Institute (USA), Sanquin Research (Holanda), Monsanto Co. (USA), The Dow Chemical Co. (USA), Syngenta Central Toxicology Laboratory (Inglaterra), Bayer CropScience (Francia), US Food and Drug Administration National Center for Food Safety and Technology (USA), DuPont (USA), University of Nebraska (USA), Bayer CropScience (USA), Syngenta Biotechnology Inc. (USA), National Institute of Health Sciences (Japón).

³ Casi todas las alergias alimentarias son reacciones mediadas por inmunoglobulinas E (IgE). Las reacciones de IgE suelen presentarse de inmediato o durante las dos horas siguientes a la exposición y su gravedad fluctúa desde leve hasta potencialmente letal.



Figura 17: Adaptación del árbol de decisión desarrollado por IFBC e ILSE por FAO/OMS para determinar la posible alergenicidad de un alimento genéticamente modificado



DBPCFC: Double-blind, placebo-controlled food challenge

Fuente: Taylor y Hefle (2001)

Hay críticas severas al concepto de equivalencia sustancial. De acuerdo a sus críticos no se vigilan de manera adecuada todos los aspectos biológicos, toxicológicos e inmunológicos para los que deberían hacerse pruebas de laboratorio, sólo se les da atención a los aspectos químicos (Bindslev-Jensen y Poulsen, 1997; Metcalf *et al.*, 1996).



8.3 Sistemas de etiquetado

De acuerdo al debate sobre el etiquetado de alimentos transgénicos se muestra los dos sistemas propuestos por los Estados Unidos y la Unión Europeo para poder comercializar estos productos (Tabla 21).

Tabla 21: Comparación entre el Sistema de Etiquetado Voluntario y el Obligatorio

| <i>Sistema de etiquetado propuesto</i> | <i>Voluntario</i> | <i>Obligatorio</i> |
|--|--|--|
| <i>Principales defensores</i> | Los Estados Unidos de Norte América | La Unión Europea |
| <i>Fundamento</i> | "Equivalencia Sustancial..." | "Equivalencia"... |
| <i>Descripción</i> | Únicamente cuando los OGMs difieren de tal forma de su contraparte convencional, que el nombre común o usual no puede aplicarse al nuevo producto, ni tomar en cuenta la historia de inocuidad de la contraparte convencional como referencia. | Presencia de la proteína o del DNA resultante de la modificación genética en el producto alimenticio. Se sugiere un proceso de etiquetado obligatorio para alimentos o ingredientes derivados de OGMs. |
| <i>Método de detección oficial</i> | No determinado. | ELISA para proteínas y PCR para DNA. |
| <i>Umbral de aceptación</i> | No determinado. | 0.9% |

Fuente: Gálvez y Díaz (2000)

8.3.1 Sistema de etiquetado voluntario (equivalencia sustancial)

Se propone el etiquetado del alimento o del ingrediente incorporado al alimento, sólo en caso de no ser considerado como "equivalente". Esta opción considera la declaración de alérgenos o de sustancias con implicaciones a la salud para ciertas secciones de la población humana. Esta propuesta está apoyada por Estados Unidos así como por distintos observadores de Organizaciones Internacionales.



8.3.1.1 Política estadounidense actual

Las agencias regulatorias de Estados Unidos consideran a los OGMs como un producto más en el mercado de alimentos que debe sujetarse a los mismos procedimientos de análisis de inocuidad estipulados para los productos no transgénicos. Desde 1992, la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) no ha establecido el etiquetado de alimentos que incluyan organismos genéticamente modificados a menos de que "el alimento difiera de su contraparte convencional de tal forma que el nombre usual no pueda aplicarse al nuevo alimento, o si en su uso existe algún riesgo ante el cual los consumidores deban ser alertados". La FDA adoptó esta posición debido a que consideró que hasta la fecha, no se ha demostrado de manera contundente que los alimentos derivados de los métodos modernos de ingeniería genética presenten alguna diferencia o representen algún riesgo con respecto a sus contrapartes producidas por técnicas convencionales (Byrne *et al.*, 2003).

Sin embargo, es posible que dicha resolución se modifique en tiempos próximos. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) propuso regulaciones en las que se prohíbe el uso de ingredientes transgénicos en alimentos etiquetados como "orgánicos". A comienzos de 2001, la FDA propuso normas voluntarias para el etiquetado de alimentos que contengan o no contengan ingredientes genéticamente modificados como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22: Ejemplos de etiquetado voluntario según las normas propuestas por la FDA

| <i>Texto en la etiqueta</i> | <i>Comentario de la FDA</i> |
|---|--|
| Exento de OGM No genéticamente modificado | No se recomienda. "Exento" implica un contenido igual a cero, el cual es casi imposible de verificar. "Genéticamente modificado" es un término inadecuado porque todas las variedades de cultivo han sido modificadas por fitomejoradores. |
| No usamos ingredientes producidos empleando biotecnología | Correcto |
| Este aceite está hecho de soya que no fue genéticamente modificada | Correcto |



Este melón no fue genéticamente modificado Puede llevar a confusión porque implica que otros melones pueden haber sido genéticamente modificados. En la actualidad, no existen variedades de ese tipo en el mercado.

Genéticamente modificado Correcto

Este producto contiene harina de maíz producido empleando la biotecnología. Correcto

Este producto tiene aceite de soya con un alto contenido de ácido oleico, obtenido de soya producida empleando biotecnología para disminuir la cantidad de grasa saturada. Correcto. La parte subrayada es obligatoria porque indica un cambio nutricional. El resto es voluntario según las normas propuestas.

Fuente: Byrne et al. (2003)

La FDA, en base al concepto de equivalencia sustancial, distingue entre las siguientes sustancias:

Indistinguibles

No son detectables ácidos nucleicos nuevos y/o proteínas de nueva expresión

Ejemplos:

- Producto (carne, leche) de animal alimentado con materias primas derivadas de OGMs.
- Jarabes de glucosa, jarabes de fructuosa, jarabes de alta maltosa, sorbitol, etc., producidos a partir de la hidrólisis enzimática del almidón de maíz.
- Vitamina C producida con microorganismos recombinantes.

Sustancialmente Equivalentes

La modificación genética no está dirigida a modificar el alimento, sino a características agronómicas (mayor rendimiento, mayor contenido de la parte comestible, etc.). Los ácidos nucleicos y/o proteínas de nueva expresión están o pueden estar presentes

Ejemplos:

- Aceites comestibles o refinados obtenidos de oleaginosas alimenticias o de maíz
- Lecitina de soya
- Almidón (menos de 0,4% proteínas)
- Proteínas de oleaginosas
- Harinas panificables



No sustancialmente equivalentes

La modificación genética está dirigida a modificar el alimento:

Características nutricionales (propiedades funcionales, maduración modificada, conservación)

Ejemplos:

- Mayor contenido de gluteinas de alto peso molecular (panificación)
- Mayor contenido de aminoácidos esenciales (lisina, metionina, triptófano en soja, maíz)
- Mayor contenido de micronutrientes
- Estabilidad de aceites (soja con menor contenido en linoléico)
- Disponibilidad de nutrientes (fitasa, celulasa)
- Vitaminas (beta-caroteno en arroz)
- Bacterias lácticas con atributos aumentados (sabor, aroma)
- Tomate con maduración retardada

Nutracéuticos (introducir un fármaco en el alimento)

Ejemplos:

- Vacunas
- Alérgenos (para de-sensibilización)
- Medicamentos

8.3.2 Sistema de etiquetado obligatorio

Se propone el etiquetado (que incluya una descripción o señalización del método de producción) de alimentos o ingredientes incorporados al alimento que se hayan producido a partir de la ingeniería genética, contengan o no DNA o proteínas resultantes de dicha manipulación, o si éstos son significativamente distintos de su contraparte convencional. Esta opción considera un umbral de aceptación con respecto al contenido final de organismos genéticamente modificados en el alimento. Esta opción está fuertemente apoyada por la Unión Europea y ha sido tomada como ejemplo, por el momento, en 35 países, entre ellos Australia, China, Filipinas, Japón y Nueva Zelanda (Gálvez y Díaz, 2000).



8.3.2.1 Política actual de la Unión Europea

La Unión Europea está conformada por los siguientes Estados Miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Portugal, Reino Unido y Suecia.

La normatividad de la Unión Europea en materia de etiquetado y trazabilidad de OGMs⁴ se resume en los cuatro reglamentos siguientes:

- Nº 1829/2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003, sobre alimentos y piensos modificados genéticamente.
- Nº 1830/2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003, sobre la trazabilidad y el etiquetado de organismos modificados genéticamente y la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos, y por el que se modifica la Directiva 2001/18/CE.
- Nº 65/2004, de la Comisión, de 14 de enero de 2004, por el que se establece un sistema de creación y asignación de identificadores únicos a los organismos modificados genéticamente.
- Nº 1946/2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de julio de 2003, relativo al movimiento transfronterizo de organismos modificados genéticamente.

Los primeros dos reglamentos entraron en vigor el viernes 7 de noviembre de 2003, 20 días después de su publicación en el Diario Oficial de la Unión Europea. Los Estados miembros de la Unión Europea disponen de seis meses para adaptarla a su legislación nacional (Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación, 2003_a).

De acuerdo a esta normativa, el etiquetado es obligatorio para aquellos alimentos y piensos que procedan de cultivos genéticamente modificados, aunque el producto final no contenga OGMs (es el caso del azúcar o el aceite, por ejemplo). Los alimentos y piensos que contengan más de un 0.9 por ciento de OGMs deberán indicarlo en la etiqueta. Igualmente, deberán ir etiquetados los alimentos y piensos que contengan más de un 0.5 por ciento de OGMs que no han sido autorizados pero que cuentan con el visto bueno de los comités científicos (es decir, sobre los que pesa la moratoria), durante un periodo transitorio de tres años (Anónimo₄, 2003_a; Anónimo₄, 2003_b).

⁴ Los reglamentos suponen en la práctica las normas más estrictas del mundo, tanto en cuanto al proceso de aprobación de los OGMs como al etiquetado y seguimiento de los productos alimentarios derivados de la biotecnología moderna (Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación, 2003_c).



No habrá que etiquetar los productos derivados de animales que hayan sido alimentados con OGMs (carne, leche y huevos) ni tampoco los productos no alimentarios como el algodón o los productos confeccionados con algodón genéticamente modificado.

Por otro lado, la Unión Europea aprobó el 16 de enero de 2004 la utilización de un código único, compuesto de letras y números, para identificar con precisión los OGMs (Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación, 2004). Los productos con OGMs aprobados en la Unión Europea adjuntarán una identificación durante todas las fases de la cadena alimentaria. Este sistema aprobado permite el seguimiento y el etiquetado seguro cuando lleguen al punto de venta, completando la legislación comunitaria sobre la autorización y el control de los OGMs (Fernández, 2003).

Se cree que esta regulación abre la puerta al levantamiento de la moratoria a las autorizaciones de nuevos granos y productos transgénicos, en vigor desde 1998 en siete de los quince países comunitarios (Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación, 2004; Fundación para la aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura, el medio ambiente y la alimentación, 2003_a). Sin embargo, esta decisión no ha sido aceptada por los países que creen en el etiquetado voluntario. En el mes de septiembre de 2003 la Organización Mundial de Comercio (OMC) aceptó examinar el recurso de queja presentado por Estados Unidos junto con Canadá, Egipto y Argentina⁵ contra las restricciones dispuestas por la Unión Europea a los OGMs. Fundamentó su queja en que las medidas dispuestas por la Unión Europea representan trabas parancelarias encubiertas destinadas a frenar el ingreso de sus exportaciones agrícolas a Europa (Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación, 2003_b).

8.3.3 Política actual en México

En cuanto al etiquetado de OGMs, el Reglamento de la Ley General de Salud adelanta la necesidad de que se desarrolle una Norma Oficial Mexicana (NOM) que determine las condiciones y requerimientos de la materia y en agosto de 1999 se especifica en el Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios de la Secretaría de Salud un apartado sobre los productos

⁵ Apoyados por otros nueve países: Australia, Chile, Colombia, El Salvador, Honduras, México, Nueva Zelanda, Perú y Uruguay.



biotecnológicos que indica que los productos biotecnológicos que quedan sujetos al control sanitario son alimentos, ingredientes, aditivos o materias primas para uso o consumo humano de forma directa o indirecta, que deriven o en su proceso intervengan organismos o parte de ellos y que hayan sufrido cualquier manipulación genética (Gálvez y Díaz, 2000). Los responsables del proceso de los productos deben presentar ante la Secretaría de Salud (SSA) la información técnica de los resultados de estudios que sustenten su inocuidad y estabilidad. La comercialización de dichos productos está sujeta a la evaluación que se haga de la información solicitada y, cuando proceda, también a los resultados del muestreo que realice la SSA. Las etiquetas de los productos a que se refiere este título deberán contener información respecto de sus características y del riesgo que éstos representen para la salud, conforme a los que disponga y especifique la SSA para el caso.



9. BIOSEGURIDAD

La Bioseguridad se define como el conjunto de normas que regulan el manejo de las innovaciones tecnológicas para asegurar el menor riesgo en la salud humana, animal o en el medio ambiente. Cabe mencionar que la Bioseguridad es un concepto más amplio y que se aplica también para el uso de radioactividad, sustancias tóxicas, desechos de hospitales, etc. (López, 2001).

La Bioseguridad referida a los alimentos genéticamente modificados es el conjunto de acciones y medidas de evaluación, monitoreo, control y prevención que quienes realicen actividades con organismos genéticamente modificados deben asumir y ejecutar responsablemente, pues a través de ellas se puede garantizar la prevención y control de los posibles riesgos que dichos organismos pudieran ocasionar a la salud humana y al medio ambiente (López, 2001).

Por lo tanto, la Bioseguridad es toda una estrategia nacional que implica involucrar a todos los sectores de un país. Basar el éxito en las exigencias jurídicas no garantiza su eficiencia. La Bioseguridad es una extensión de la seguridad nacional y una expresión política para preservar sus recursos bióticos, así como proteger a la sociedad ante los potenciales efectos negativos que algunas tecnologías pudieran tener.

9.1 El análisis de riesgos

El análisis de riesgos es fundamental para la Bioseguridad. Los órganos encargados de la reglamentación basan sus normas en evaluaciones científicas de los riesgos.

Muchos de ellos consideran que la adopción de decisiones basadas en principios científicos es el único medio objetivo para establecer una política en un mundo con diversas opiniones, valores e intereses (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2001).

El *análisis de riesgos* es un proceso que consta de tres componentes:

- La evaluación de riesgos
- La gestión de riesgos
- La comunicación de riesgos



Evaluación de riesgos

En el contexto de la inocuidad, el riesgo incluye dos elementos:

- El peligro, factor intrínseco (por ejemplo un agente biológico, químico o físico, o una propiedad de un alimento, capaz de provocar un efecto nocivo para la salud) que indica el daño si se produce el suceso; y
- La probabilidad o posibilidad de que se produzca el suceso. Por consiguiente, en lo que respecta a los productos químicos, se considera que el riesgo es el peligro multiplicado por las posibilidades de exposición; en lo que respecta a la cuarentena, es el daño potencial causado por la plaga multiplicado por las posibilidades de introducción, etc.

Por consiguiente, se estudian los peligros, y la posibilidad de que se produzcan esos peligros, y se construyen modelos para predecir el riesgo. Esas predicciones pueden verificarse también posteriormente, por ejemplo, mediante estudios estadísticos (epidemiológicos). Los dos componentes del riesgo contienen cierto grado de incertidumbre, y este grado de incertidumbre es el centro de muchos debates. Por ejemplo, existen dudas en cuanto a si las metodologías utilizadas en la estimación del riesgo con determinados fines (residuos de plaguicidas en los alimentos, introducción de plagas) tienen un valor predicativo suficiente para los OGMs. En particular, el peligro, como componente del análisis de riesgos, es objeto de un atento examen.

Gestión de riesgos y análisis de las alternativas

La *gestión de riesgos* es el proceso, distinto de la evaluación de riesgos, que consiste en ponderar las diferentes opciones normativas, en consulta con todas las partes interesadas y teniendo en cuenta la evaluación de riesgos y otros factores relacionados con la protección de la salud de los consumidores y la promoción de prácticas comerciales equitativas y, si fuera necesario, en seleccionar las posibles medidas de prevención y control apropiadas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2001).

Es probable que el peligro para el medio ambiente sea más difícil de cuantificar que el peligro para la salud. Además se refiere a un bien común, y no a un bien privado (la salud). En ambos casos, sólo la experiencia a largo plazo puede indicar si la evaluación de riesgos y la gestión de riesgos se han realizado de manera satisfactoria. Cuando se aplica una estrategia acertada de gestión de riesgos a problemas ambientales, a diferencia de problemas de inocuidad, debe empezarse por describir el



problema y las metas, objetivos y valores que se persiguen con la solución del problema. A continuación se lleva a cabo un análisis de las alternativas para estudiar el mayor número de soluciones posible. En lugar de restringir el análisis, esto permite crear nuevas opciones o combinaciones de opciones. Cuando es posible comparar las ventajas e inconvenientes de una variedad más amplia de posibles soluciones, se puede garantizar una participación más amplia de la sociedad interesada.

Comunicación de riesgos

La *comunicación de riesgos* es el intercambio interactivo de información y opiniones a lo largo de todo el proceso de análisis de riesgos entre las personas encargadas de la evaluación de los riesgos, las encargadas de la gestión de los riesgos, los consumidores, la industria, la comunidad académica y otras partes interesadas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2001). El intercambio de información se refiere a factores relacionados con los riesgos y a las percepciones de los riesgos, comprendida la explicación de los resultados de la evaluación de los riesgos y de los fundamentos de las decisiones relacionadas con la gestión de riesgos. Es imprescindible que la comunicación con el público sobre los riesgos proceda de fuentes creíbles y de confianza.

9.2 Organismos y acuerdos internacionales para la regulación de OGMs

La regulación de los cultivos y alimentos genéticamente modificados abarca tres importantes niveles internacionales:

- El Codex-Alimentarius (la agencia de fijación de estándares de la Organización Mundial de la Salud y de la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas)
- El Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología
- La Organización Mundial del Comercio

9.2.1 La Comisión del Codex Alimentarius

La Comisión del Codex Alimentarius (Codex), que es una comisión conjunta FAO/OMS, se creó en 1962 con el fin de fijar las normas sobre inocuidad de los alimentos (Organización Mundial de la



Salud / Organización Mundial del Comercio, 2002). La Comisión cuenta con 165 gobiernos miembros que, con el asesoramiento de expertos técnicos independientes seleccionados por la FAO y la OMS, establecen las normas, directrices y recomendaciones alimentarias para la protección de la salud de los consumidores (Organización Mundial de la Salud / Organización Mundial del Comercio, 2002).

Los Estados miembros aprueban oficialmente las normas del Codex después de realizar minuciosos exámenes de los documentos científicos basados en los procedimientos de evaluación de riesgos generalmente aceptados. Los principios del Codex no tienen un efecto de obligatoriedad sobre la legislación nacional, pero son mencionados específicamente en el Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (Acuerdo MSF) de la OMC, y pueden usarse como referencia en el caso de disputas comerciales.

En respuesta a la creciente inquietud sobre la inocuidad y los aspectos nutricionales de los alimentos derivados de la Biotecnología, en julio de 1999 la Comisión del Codex Alimentarius decidió "examinar las normas, directrices y otras recomendaciones para los alimentos derivados de la Biotecnología o las características introducidas en los alimentos mediante Biotecnología" (Organización Mundial de la Salud / Organización Mundial del Comercio, 2002). En ese mismo período de sesiones se creó un Grupo de Trabajo Intergubernamental sobre Alimentos derivados de la Biotecnología, con un mandato de tres años, para que contribuyera a formular un consenso global sobre la inocuidad y los aspectos nutricionales de los alimentos derivados de la Biotecnología.

En la 26ª sesión de la Comisión del Codex Alimentarius, realizada en las Oficinas Centrales de la FAO, en Roma, del 30 de junio al 7 de julio de 2003, un acuerdo decisivo fue adoptado sobre como evaluar los riesgos para los consumidores de los alimentos derivados de la Biotecnología, incluyendo los alimentos genéticamente modificados (Comisión del Codex Alimentarius, 2003).

Estos lineamientos establecen principios generales amplios tendientes a hacer uniformes entre los países miembros del Codex, el análisis y el manejo de los riesgos relacionados a los alimentos derivados de la Biotecnología. La Comisión adoptó los documentos "Proyecto de principios para el análisis de riesgos de alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos", "Proyecto de directrices para la realización de la evaluación de la inocuidad de los alimentos producidos utilizando microorganismos de ADN recombinante", "Texto principal del proyecto de directrices para la realización de la valuación de la inocuidad de los alimentos obtenidos de plantas de ADN recombinante" y "Anteproyecto de anexo sobre la evaluación de la posible alergenicidad" (Comisión del Codex Alimentarius, 2003).



9.2.2 El Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología

El Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología (PCB), un tratado ambiental legalmente obligatorio para sus partes, regula los movimientos transfronterizos de los organismos vivos modificados (OVMs). Los alimentos genéticamente modificados entran en el ámbito del Protocolo sólo si contienen OVMs capaces de transferir o replicar el material genético. La piedra angular del PCB es un requisito de que los exportadores soliciten el consentimiento de los importadores antes del primer envío de OVMs con intenciones de ser liberados al medio ambiente (Gálvez y Díaz, 2000).

Ante la presencia de nuevas tecnologías, el grave deterioro del planeta y la ausencia de instrumentos legales internacionales para disminuir los daños ocasionados al ambiente, en el año de 1992 se celebró en Río de Janeiro la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo ("Cumbre De la Tierra"), en la que México participó en virtud de la importancia de sus ecosistemas y de su diversidad biológica. De dicha Conferencia derivaron, para el tema de nuestro interés, dos instrumentos internacionales sumamente relevantes como son la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), ambos suscritos por el gobierno mexicano y ratificados por el senado del país.

Del Convenio sobre la Diversidad Biológica se desprendió el compromiso a cargo de los Estados que lo firmaron, de convenir en un Protocolo las previsiones necesarias para garantizar la protección de la diversidad biológica y de la salud humana, frente a los riesgos y posibles efectos adversos que les pudieran ocasionar los OVMs resultantes de la Biotecnología moderna. El cumplimiento de ese compromiso dio lugar al Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, mejor conocido como el Protocolo de Cartagena,

Después de varios años de negociaciones, dicho Protocolo se completó y adoptó por más de 130 países en Montreal, Canadá, el 29 de enero de 2000, en la reunión extraordinaria de la Conferencia de las Partes (López, 2001)¹.

A continuación, se resumen los puntos más controvertidos de la negociación:

- Quedan establecidas reglas mundiales para el control del movimiento transfronterizo, tránsito, manejo y uso de OVMs.

¹ Hasta el momento de la elaboración de la presente tesis son 194 países los que han adoptado el PCB



- La base del Protocolo es el principio precautorio², que dice que la ausencia de evidencia no significa la ausencia de riesgo, por lo que ante la falta de certeza científica sobre los posibles daños que un producto puede ocasionar, un país tiene derecho a rechazarlo.
- El Protocolo no se subordinará a las reglas de otros acuerdos internacionales³.
- El comercio con países no miembros del Protocolo es permitido mientras haya consecuencia con el Protocolo. Las partes pueden establecer acuerdos específicos multilaterales o regionales con no miembros, que no deberán quedar en un nivel más bajo de protección que el establecido por el protocolo.
- Establece procedimientos internacionales para lograr un Acuerdo Fundamentado Previo (AFP) para el movimiento transfronterizo de los OVMs.
- Se especifica el requerimiento de que los envíos a granel de productos básicos con OVMs, esté acompañado de la documentación que declare que tales envíos "pueden contener" OVMs y "no se tiene el propósito de introducirlos intencionalmente en el ambiente".
- El Protocolo no se involucra en temas de inocuidad alimentaria, no requiere la segregación de envíos a granel de productos básicos que puedan contener OGMs, ni los sujeta al procedimiento del AFP, ni establece requisitos de identificación detallada para envíos a granel de productos básicos.
- Resalta importancia que tienen para la humanidad los centros de origen y diversidad biológica y obliga a las partes a considerar este punto al decidir el procedimiento para un AFP.
- Es obligación de las partes desarrollar reglas internacionales en cuanto a responsabilidad y compensación por daño causado por el movimiento transfronterizo de OVMs.
- Establece la necesidad de la creación de un "Centro de Intercambio sobre Bioseguridad en Biotecnología" para ayudar a los países a intercambiar información científica, técnica, ambiental y legal sobre OVMs.
- Establece la necesidad de impulsar mecanismos de ayuda a los países en vías de desarrollo para crear capacidades en materia de administración de la biotecnología moderna.

² Con el fin de proteger el medio ambiente, los estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no debe utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente.

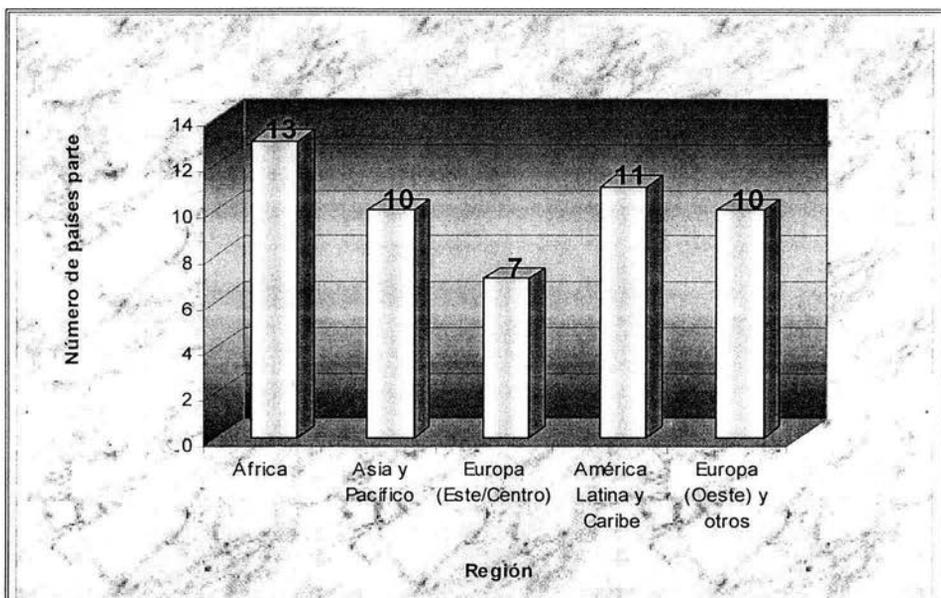
³ La inclusión de una "cláusula de salvaguardia" que deja sentado que las partes tienen la intención de que el acuerdo no altere los derechos y obligaciones de los gobiernos de conformidad con la OMC u otros acuerdos internacionales existentes.



El Protocolo entró en vigencia el día 11 de septiembre de 2003. Para tener validez en el ámbito internacional lo debieron ratificar por lo menos 50 países. El 14 de junio de 2003, el archipiélago Palau, un conjunto de 300 islas situado en la Micronesia, ratificó el Protocolo, al ser éste el país cincuenta en ratificarlo, entró en vigor en todos los países signantes, 300 días después de la ratificación del país cincuenta (Convention on Biological Diversity, 2003).

En la siguiente figura se muestra la distribución regional de los países parte que ratificaron el PCB hasta el momento de la elaboración de la presente tesis.

Figura 18: Distribución regional de ratificaciones del PCB



África Botswana, Camerún, Djibouti, Ghana, Kenya, Lesotho, Liberia, Malí, Mauricio, Mozambique, Tanzania, Túnez y Uganda **Asia y Pacífico** Bhután, Fiji, India, Maldivas, Islas del Mariscal, Nauru, Niue, Omán, Palau, Samoa **Centro y Este de Europa** Belarus, Bulgaria, Croacia, la República Checa, la República de Moldava, Eslovenia, y Ucrania **Latinoamérica y Caribe** Barbados, Bolivia, Colombia, Cuba, Ecuador, México, Nicaragua, Panamá, San Kitts y Nieves, Trinidad y Tobago, Venezuela **Oeste de Europa y otros:** Austria, Dinamarca, la Comunidad Europea, Francia, Luxemburgo, Noruega, España, Suecia, Suiza, y Países Bajos

Fuente: *Convention on Biological Diversity (2003)*



Es importante mencionar que el Protocolo de Cartagena será de gran ayuda para aquellos países que no tienen aún un marco regulatorio sobre OGMs y son importadores de semillas y alimentos. Pero la repercusión del Protocolo es distinta si se refiere a países de la zona templada que tienen una menor diversidad biológica, o si se trata de aquellos ubicados en la zona tropical caracterizada por su megadiversidad, de manera tal que es importante reflexionar en torno a esa diferencia, reconociendo que la diversidad biológica tiene una base cultural y social (Gálvez y Díaz, 2000).

El Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP) puso en marcha un programa para asesorar a los países en desarrollo sobre los beneficios y riesgos de los OVMs. El proyecto está financiado por el Servicio Global para el Ambiente (GEF) y ayudará a 100 países a desarrollar la estructura científica y legal para evaluar los OVMs (Carullo, 2002). De este modo, el proyecto ayuda a cada participante a preparar herramientas para el manejo de los OVMs en el nivel nacional, permitiéndole reunir los requisitos del Protocolo de Cartagena

El GEF fue establecido en 1991 conjuntamente por la UNEP, el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas (PNUD) y el Banco Mundial. El UNEP-GEF comenzó a operar en junio de 2001 (Carullo, 2002).

9.2.3 Organización Mundial de Comercio (OMC)

En general, las obligaciones del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)⁴ complementan las establecidas en la Ronda Uruguay de la OMC, que, a su vez, se basan en las obligaciones establecidas en el GATT de 1947. Entre los principales derechos y obligaciones del GATT se cuentan el de la nación más favorecida (NMF), artículo I; el trato nacional y la no discriminación, artículo III; la prohibición del uso de cuotas y otras barreras al comercio, artículo XI, y las excepciones generales a las reglas de comercio, artículo XX (Jackson, 1994; citado en Vaughan, 2003).

En el último decenio apareció una vasta bibliografía que explora la relación entre las políticas comerciales y las ambientales, definidas a grandes rasgos. De estos temas, tal vez el de mayor importancia es la relación entre las regulaciones nacionales, ambientales, agrícolas, de salud, de seguridad y sanitarias aplicadas para condicionar el acceso de transgénicos y las obligaciones previstas en la OMC y el TLCAN (Esty, 1994; Jackson, 1993; Nordstrom y Vaughan, 1999; citados en Vaughan, 2003). Convendría señalar que, desde el punto de vista de las bases científicas de la restricción, en el artículo 2.2 del Acuerdo de la OMC sobre Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF)

⁴ Acuerdo de liberalización comercial entre Canadá, Estados Unidos y México que entró en vigor el 1 de enero de 1994



se establece, entre otras cosas, que cada medida MSF "se base en principios científicos y no se mantenga sin pruebas científicas suficientes". No obstante, en el acuerdo se dispone que las medidas compatibles con las normas internacionales pertinentes también se consideran compatibles con estas obligaciones de las medidas MSF. Por su parte, en el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) se hace referencia a la pertinencia de las normas internacionales, señalándose que las normas nacionales que difieren de las internacionales no pueden "constituir un medio de discriminación arbitraria o injustificable entre países donde prevalecen las mismas condiciones o una restricción disfrazada al comercio internacional" (OTC, preámbulo; citado en Vaughan, 2003).



10. BIOSEGURIDAD EN MÉXICO

10.1 Los organismos públicos y la Bioseguridad

En 1989 se formó el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA), actualmente Subcomité Especializado en Agricultura (SEA), el cual funge como grupo asesor que apoya a la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV)¹ en la evaluación de la información sobre solicitudes para la liberación en campo de productos transgénicos; así como el establecimiento de regulaciones y políticas relacionadas con el tema (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2002_a). Para la integración del CNBA se seleccionaron expertos de las instituciones de investigación y universidades con mayor conocimiento en el área de Biotecnología.

En principio, el Comité se abocó a la elaboración de una NOM que regulara estos productos, basada en las experiencias de otros países con relación a la regulación de plantas transgénicas y fue el 11 de julio de 1996 que se publicó la NOM-056-FITO-1996 por la que se establecen los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004_c).

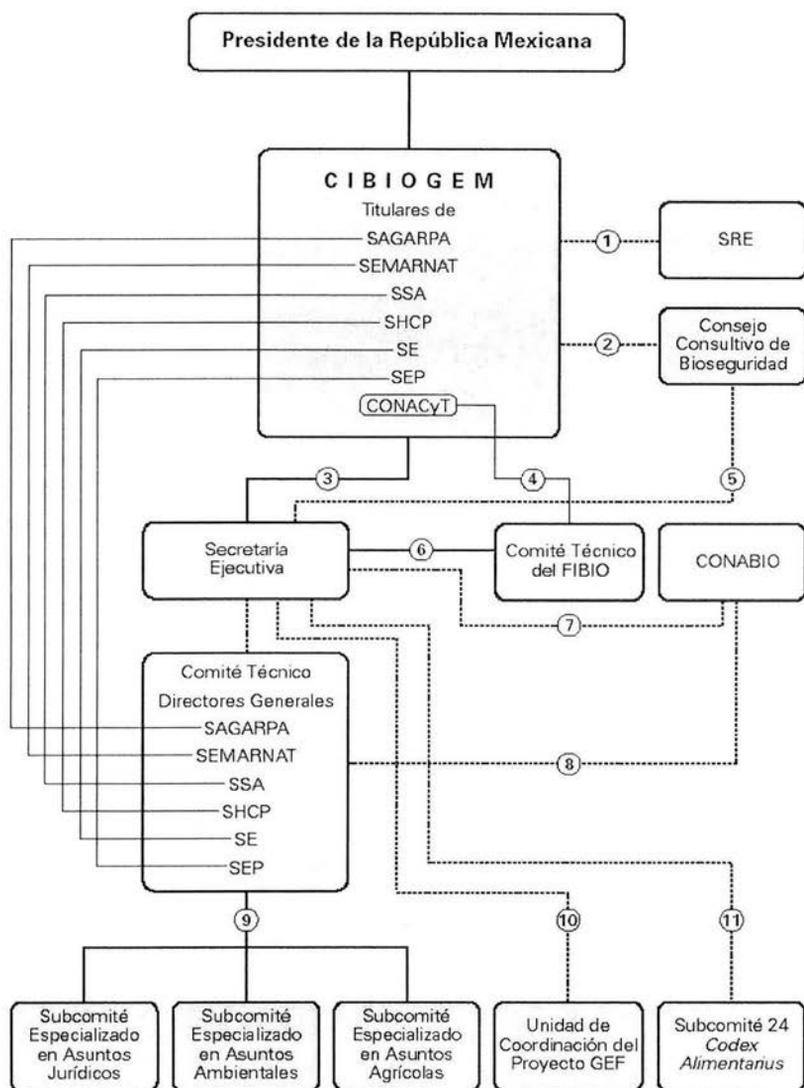
El 5 de noviembre de 1999, se emitió el Acuerdo por el que se crea la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), cuyo objetivo es coordinar las políticas de la Administración Pública Federal relativas a la Bioseguridad y a la producción, importación, exportación, movilización, propagación, liberación, consumo y en general, uso y aprovechamiento de OGMs, sus productos y subproductos (DOF-05-11-999). La Comisión fue establecida formalmente el 12 de enero de 2000 (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2002_a).

Esta Comisión está integrada por los Titulares de las Secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Salud; Hacienda y Crédito Público; Economía y Educación Pública, así como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. La presidencia de la misma es de manera rotatoria por períodos de seis meses, entre los titulares de las tres primeras dependencias citadas, en el mismo orden y actualmente corresponde a la SAGARPA (Fig. 19).

¹ Perteneciente a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)



Figura 19: Organigrama de la CIBIOGEM



Fuente: Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (2004.)



Los objetivos de la CIBIOGEM son elaborar las políticas nacionales en materia de OGMs; actualización y mejoramiento del marco jurídico; proponer normas oficiales mexicanas; simplificación administrativa; registros de OGMs; mecanismos de monitoreo y evaluación de impacto al ambiente, salud humana y animal; verificar e inspeccionar el uso de OGMs; dar a conocer los posibles riesgos por el uso o consumo de OGMs; recomendar proyectos de investigación de interés nacional; proponer programas de transferencia de tecnología; atender consultas; designar a los representantes de las delegaciones y representaciones mexicanas en eventos y ante organismos internacionales y sistematizar información nacional, entre otros.

La CIBIOGEM cuenta con un Comité Técnico, el cual está integrado por los Directores Generales competentes en la materia, el cual es coordinado por un Secretario Ejecutivo. Este Comité se encarga de dar seguimiento a los acuerdos de la Comisión y propone la formación de Subcomités Especializados para la atención de asuntos específicos.

Además, se ha conformado el Consejo Consultivo de Bioseguridad como un órgano de consulta obligatorio en aspectos técnicos y científicos, integrado por investigadores de reconocido prestigio y experiencia en esta materia, mismos que han sido elegidos mediante convocatoria pública emitida por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

10.2 Marco Jurídico

En México, contamos con regulación a nivel de Leyes, Reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas, referidas al objeto de acción de CIBIOGEM, la Bioseguridad y los OGM's. La propia CIBIOGEM, a través de las Secretarías de Estado y del CONACYT, integrantes de la misma, aplican ciertas normas jurídicas relacionadas con bioseguridad, que principalmente se refieren a la SAGARPA, SEMARNAT y SSA (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2002_b).

Por lo que respecta a las otras tres Secretarías de Estado que conforman CIBIOGEM (Hacienda y Crédito Público, Economía y Educación Pública), es importante precisar que no aplican normatividad específica en materia de Bioseguridad, aunque sí lo hacen en cuanto a disposiciones que regulan aspectos relacionados con Bioseguridad y/o Biotecnología vinculada con Bioseguridad, directa e indirectamente.

En este orden de ideas, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público aplica normatividad relacionada con el control sobre movimientos transfronterizos de bienes (importación y exportación), aduanas, imposición tributaria (impuestos) y asistencia financiera, entre otros.



La Secretaría de Economía hace lo correspondiente sobre normas jurídicas relacionadas con el comercio exterior, políticas comerciales nacionales e internacionales, colocación en el mercado de bienes y tratados comerciales internacionales, mientras que uno de los órganos gubernamentales sectorizados a esta dependencia (IMPI), regula la propiedad industrial, y otro protege los derechos de los consumidores (PROFECO).

Por su parte, la Secretaría de Educación Pública indirectamente también se vincula con la Bioseguridad al aplicar normas jurídicas vinculadas con la elaboración de políticas educativas nacionales a prácticamente todos los niveles, investigación y divulgación educativa y científica, junto con CONACYT.

Normatividad aplicada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)

- Ley Federal de Sanidad Vegetal
- Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable
- NOM-056-FITO-1995 Por la que se establecen los Requisitos Fitosanitarios para la Movilización Nacional, Importación y Establecimiento de Pruebas de Campo de Organismos Manipulados Mediante la Aplicación de Ingeniería Genética

Normatividad aplicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental

Normatividad aplicada por la Secretaría de Salud (SSA)

- Ley General de Salud
- Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios
- Reglamento de Insumos para la Salud
- Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Publicidad
- Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud



Delitos en materia de Bioseguridad

- Código Penal Federal

Iniciativas de Ley

- Ley de Bioseguridad de Organismos Vivos y Material Genético (PVEM).
- Ley de Bioseguridad (PAN).
- Ley Sobre la Producción, Distribución, Comercialización, Control y Fomento de los Productos Transgénicos (PRD).
- Proyecto de Predictamen de Ley de Bioseguridad (PAN/PVEM).
- Ley de Investigación y Desarrollo Biotecnológico (PRI).
- Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (Comisión de Ciencia y Tecnología del Senado de la República).

De los anteriores proyectos legislativos, la iniciativa de Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, se ha aprobado por la Cámara de Senadores y se encuentran pendiente de aprobación por la de Diputados (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004.). En enero de 2003 SAGARPA envió a la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER) el anteproyecto de NOM-FITO/ECOL-2001 (Fuentes, 2003).

10.3 Reglamentación específica para OGMs

10.3.1 NOM-056 FITO-1995

De todas las leyes, normas, reglamentos y ordenamientos que se han especificado anteriormente, la NOM-056 FITO-1995 que se enmarca dentro del artículo 43 de la Ley Federal de Sanidad Vegetal, es la de mayor aplicación en cuanto a regulación de cultivos transgénicos (Gálvez, 2002).

Actualmente vigila:

- Establecimiento de ensayos en campo
- Inspección de campos experimentales
- Movimiento interestatal
- Importación de plantas transgénicas



No cubre:

- Aplicaciones comerciales o a gran escala
- Procesamiento de granos para producción de alimentos
- No necesariamente reglamenta sobre las presiones al ambiente y a la biodiversidad que sean efectos indirectos de los transgénicos
- Impactos a la salud humana o animal

Esta NOM se deriva de la competencia que le confiere a SAGARPA la Ley General de Sanidad Vegetal y tiene como objetivo establecer los requisitos para importar, movilizar y liberar en campo plantas transgénicas, donde se incluyen la presentación de información relativa a descripción sobre el material transgénico con énfasis en la presencia de especies silvestres y su distribución en el área donde se libera el producto; autocruzas; polinización; hábitat; características genéticas de los organismos donador, receptor, y vector; medidas de bioseguridad durante su movilización y liberación en campo; biología molecular del material; objetivo del estudio, su localización y diseño experimental, principalmente. Esta información es evaluada por el SEA, caso por caso, a fin de emitir una opinión técnica a la DGSV en relación a la procedencia de su autorización y las medidas de Bioseguridad que habrán de tomarse en caso de que represente un posible riesgo al ambiente.

10.3.2 Código Penal; capítulo tercero de la Bioseguridad

Artículo 420 Ter. Se impondrá pena de uno a nueve años de prisión y de trescientos a tres mil días multa, a quien en contravención a lo establecido en la normatividad aplicable, introduzca al país, o extraiga del mismo, comercie, transporte, almacene o libere al ambiente, algún organismo genéticamente modificado que altere o pueda alterar negativamente los componentes, la estructura o el funcionamiento de los ecosistemas naturales. Para efectos de este artículo, se entenderá como organismo genéticamente modificado, cualquier organismo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología, incluyendo los derivados de técnicas de ingeniería genética (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004c).

El artículo 420 ter, se creó dentro de la reforma a los delitos contra el ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 6 de febrero de 2002 (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004c).



10.3.3 Proyecto de NOM-FITO/ECOL-2001

Esta NOM tiene por objeto establecer dentro del territorio nacional, los requisitos y especificaciones para la importación, movilización y liberación al ambiente en programas piloto y con fines comerciales de OGMs destinados al uso agrícola (Anónimo₁, 2002). Aún no tiene aplicación.

- Establece que cada solicitud se analizará caso por caso con el fin de detectar los posibles riesgos al ambiente y a la agricultura, y también en cada caso se determinarán las condiciones de Bioseguridad bajo las cuales se permitirá la liberación y/o comercialización.
- Establece también los requerimientos de información necesaria sobre la construcción genética del OGM y sobre la diversidad biológica de la zona en la que se pretende liberar para poder llevar a cabo el análisis de riesgo agroecológico necesario para decidir en base al costo beneficio sobre la procedencia de la liberación y las medidas de bioseguridad necesarias.
- Establece el procedimiento que debe de seguir el particular interesado en llevar a cabo liberaciones de OGMs a nivel programa piloto y comercial, el cual tuvo que haber pasado por la etapa de experimentación establecida en la NOM-056-FITO-1995. El procedimiento será meticuloso. Por ejemplo, SAGARPA tendrá 220 días para estudiar una solicitud de certificado para importar y liberar al ambiente productos transgénicos.
- Habrá zonas prohibidas donde no podrán liberarse transgénicos. Éstas incluyen las que han sido designadas por el gobierno como áreas naturales protegidas, lo que de entrada restringe el acceso a más de 354 mil hectáreas agrícolas, y además, los centros de biodiversidad que determinen las autoridades.

10.3.4 Iniciativa de Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados

Esta iniciativa está dirigida a regular las actividades con OGMs, que son la utilización confinada, la liberación experimental, la liberación comercial, la comercialización y la importación. La salud humana, el medio ambiente y la diversidad biológica son los bienes jurídicos a proteger mediante esta iniciativa (Anónimo₃, 2003).



Entre los aspectos propuestos destacables de esta iniciativa de ley pueden destacarse los siguientes:

- El análisis caso por caso.
- El análisis de riesgos.
- El establecimiento de competencias a autoridades encargadas de aplicar la ley.
- La identificación de zonas restringidas (áreas naturales protegidas y centros de biodiversidad).
- Referir a normas oficiales mexicanas el desarrollo pormenorizado de los instrumentos y mecanismos establecidos en la Ley, como lo es el etiquetado.
- Aplicación del Protocolo de Cartagena.
- Creación de capacidad institucional en Bioseguridad (fomento a la investigación científica y tecnológica en materia de Biotecnología y Bioseguridad).
- El establecimiento de un sistema de información.

La iniciativa es producto de consideraciones, recomendaciones y propuestas que se han presentado en ambas Cámaras integrantes del H. Congreso de la Unión para atender la preocupación general sobre los riesgos que los OGMs pudieran representar al medio ambiente y a la salud humana, y sobre la necesidad de su contribución para la solución de problemas nacionales, como lo es en materia de alimentación. Su antecedente principal es la adopción por el gobierno mexicano, por conducto del Ejecutivo Federal, y la ratificación por el Senado de la República, del Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología Moderna (Anónimo, 2003).

La Comisión de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Senadores realizó actividades para intercambiar ideas y experiencias con diversos sectores sobre aspectos jurídicos, técnicos y científicos relativos a la Bioseguridad y a la Biotecnología moderna. La Academia Mexicana de Ciencias (AMC) realizó una colaboración especialmente relevante. Su calidad de organismo especialista en temas de Biotecnología moderna y en otras ramas científicas ha hecho de su participación una pieza importante en la construcción y el consenso de la iniciativa.



10.4 Adecuación de México al Protocolo de Cartagena

El Protocolo de Cartagena fue suscrito por el Ejecutivo Federal el 29 de enero de 2000 y ratificado por el Senado de la República el 30 de abril del 2002, en ejercicio de su facultad exclusiva, obligando al gobierno mexicano frente a la comunidad internacional a cumplir con las estipulaciones convenidas en dicho tratado internacional (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004c).

En su Dictamen de Ratificación el Senado de la República se pronunció sobre los siguientes aspectos de especial relevancia en el tema de la Bioseguridad:

- La Biotecnología guarda estrecha relación con la Bioseguridad.
- El surgimiento de los Organismos Vivos Modificados ayudará a responder los retos de este nuevo siglo.
- El Protocolo de Cartagena refleja la preocupación de la comunidad internacional sobre los riesgos que puede representar, para el medio ambiente y para la salud del hombre, la aplicación y el desarrollo de la Biotecnología moderna en diversos sectores, principalmente el agrícola, en la creación y producción de Organismos Vivos Modificados.
- Nuestro país cuenta con regulaciones en esta materia mínimas y dispersas.
- Se requiere de la creación de una Ley mexicana en esta materia que sea compatible con el Protocolo de Cartagena.
- México enfrenta el enorme reto de aprovechar al máximo el potencial de la Biotecnología con responsabilidad y conciencia y sin amenazar la diversidad genética de esos recursos.
- Se requiere proteger la diversidad biológica y atender preventivamente riesgos a la salud humana, sin generar obstáculos innecesarios al comercio exterior.

10.4.1 Proyecto: Fortalecimiento de la Capacidad Nacional para la Implementación del Protocolo de Cartagena

México ha ratificado ceñirse a las responsabilidades indicadas en el Protocolo de Cartagena para la Seguridad de la Biotecnología (PCB) y con ello adquirió una serie de compromisos con la comunidad internacional y nacional. Para responder en consecuencia y continuar con las acciones que desde hace 12 años ha venido realizando en el tema de Bioseguridad, el gobierno mexicano auspició la elaboración del Proyecto Fortalecimiento de la Capacidad Nacional para la Implementación del



Protocolo de Cartagena, logrando la aprobación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) a finales de 2001 (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados, 2004_c).

El Proyecto elaborado con representantes de diferentes instancias gubernamentales, estableció las prioridades nacionales en Bioseguridad contemplando actividades financiadas por el GEF y otras más por el gobierno mexicano, mismas que se indican a continuación:

OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Apoyar a consolidar la capacidad nacional de México en la implementación del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad a través de un Plan Nacional de mediano y largo plazo en materia de Bioseguridad

INSTANCIAS PARTICIPANTES

SAGARPA, SEMARNAT, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), CIBIOGEM, SSA (sin presupuesto GEF) y SHCP (sin presupuesto GEF)

RESULTADOS

En un plazo de tres años, el país contará con capacidad institucional en materia de Bioseguridad a través de capacitación, intercomunicación, elaboración de bases de datos, equipo de laboratorio, estrategia de comunicación del riesgo y fortalecimiento del marco legal.

10.4.2 Requisitos de Documentación para Organismos Vivos Modificados para Alimentación, Forraje o para Procesamiento OVM /AHFP

El documento fue firmado el 29 de octubre de 2003 en la ciudad de México, después de haber sido aprobado en el seno de la CIBIOGEM (Pérez, 2004). El propósito es articular un entendimiento entre los Estados Unidos, Canadá y México con respecto a los requisitos de la documentación del PBC respecto a los OVMs destinados al uso directo como alimento humano o forraje animal, o procesamiento (OVM/AHFP) (Anónimo_s, 2004). Específicamente, el objetivo de este arreglo es aclarar los requisitos de documentación que cumplen los objetivos del PBC sin interrumpir innecesariamente el comercio de mercancías. Este documento tendrá una vigencia de dos años, a partir de la fecha de su firma. Podrá permanecer en vigor más allá de este período con el mutuo consentimiento de todas las partes.



Estados Unidos y Canadá no son Parte del PBC en este momento. Sin embargo, la legalidad del documento firmado queda respaldada en dos artículos del PCB. El **artículo 14** dice: *"Las partes podrán concertar acuerdos y arreglos bilaterales, regionales y multilaterales relativos a los movimientos transfronterizos intencionales de organismos vivos modificados, siempre que esos acuerdos y arreglos sean compatibles con el objetivo del presente Protocolo y no constituyan una reducción del nivel de protección establecido por el Protocolo"*. Por otro lado, el **Artículo 24** dice: *"Los movimientos transfronterizos de organismos vivos modificados entre partes y Estados que no son parte, deberán ser compatibles con el objetivo del presente Protocolo"*. *"Las partes podrán concertar acuerdos y arreglos bilaterales y regionales multilaterales con Estados que no son parte, en relación con los movimientos transfronterizos de las OVM's"*.

Según este arreglo, los embarques con 95 por ciento o más de granos modificados genéticamente requerirán indicar en la factura del contenedor la leyenda: "contienen transgénicos". El resto queda exento. Con ello, también se da cumplimiento cabal al artículo 18.2(a) del PCB.

Permite a México, además, tener acceso a la información con la que cuentan tanto Estados Unidos como Canadá, lo que coadyuva a una más sólida toma de decisiones sobre la importación de productos modificados genéticamente (Pérez, 2004).

Este arreglo no afecta las decisiones de alguno de los signatarios con respecto a la importación de OVM / AHFP bajo su estructura regulatoria local o de conformidad con una evaluación de riesgo, de acuerdo a lo considerado en el Artículo 11 del PCB (Pérez, 2004).

Cuando a juicio de alguna de las partes, surjan asuntos que requieran una consulta posterior en la interpretación o implementación de este documento, incluyendo decisiones relevantes de las Partes con respecto al PCB, los Participantes podrán de forma conjunta decidir hacer las modificaciones y / o actualizaciones necesarias (Pérez, 2004).

V. TRABAJO DE CAMPO



1. ENTREVISTAS CON ESPECIALISTAS

El objetivo de este estudio fue investigar la percepción de Biotecnología y alimentos transgénicos entre algunos de los principales actores políticos involucrados en el debate público en México, lo que permitió conocer el nivel de discusión que se está llevando a cabo sobre estos temas no solamente en México, sino también en otros países.

Para ello, tal y como se explicó en el apartado sobre metodología, se llevaron a cabo entrevistas con especialistas de las distintas áreas de discusión (ver Anexo B para entrevistas *in extenso*). Del área de Ciencias Biológicas se entrevistaron a dos biotecnólogos del IBT, el Dr. Agustín López-Munguía y la Dra. Alejandra Covarrubias, así como a un ecólogo del Instituto de Ecología de la UNAM, el Dr. Víctor Toledo, quien además ha trabajado en el área social. Del área de Ciencias Sociales se entrevistó al Dr. Adolfo Olea, docente en la UAM Xochimilco. Como representante de las empresas biotecnológicas en el país se entrevistó al Dr. José Luis Solleiro, director técnico de AgroBIO México, quien además es investigador de la UNAM. Como representantes de dos organismos gubernamentales directamente involucrados con políticas de Bioseguridad, se entrevistaron a Alejandra Barrios, del área de análisis de riesgos y Bioseguridad de la CONABIO y a la Dra. Amanda Gálvez, coordinadora del Consejo Consultivo de Bioseguridad de la CIBIOGEM e investigadora de la UNAM. En lo que se refiere a organizaciones no gubernamentales, se entrevistaron a Silvia Ribeiro del grupo ETC y a la Mtra. Liza Covantes de Greenpeace México. Se entrevistó también a un ecologista y consultor medioambiental español, Mariano Cereijo, quien es articulista independiente en La Jornada y en algunas páginas electrónicas para difusión de información de ONGs.

El estudio de las respuestas obtenidas consistió en un análisis de las diferentes posturas sobre el desarrollo, riesgos y beneficios potenciales de la Biotecnología y los alimentos transgénicos en México, identificando los principales puntos de acuerdo y de discrepancia entre los entrevistados.

La ventaja de un estudio como este es que los actores políticos están involucrados activamente en el debate público y por lo tanto, están bien informados sobre los diferentes aspectos de la Biotecnología y los alimentos transgénicos, además de que tienen una influencia significativa en la formación de las opiniones de los ciudadanos. Por otro lado, es la percepción de los actores políticos más que del público en general lo que realmente influye las decisiones políticas tomadas en el país.



El presente estudio reveló tres diferentes grupos con una configuración diferente de percepción. El primer grupo está constituido por el biotecnólogo Agustín López Munguía y el Dr. José Luis Solleiro, director técnico de AgroBIO México, representando a quienes adoptan una postura positiva a favor de la Biotecnología y los alimentos transgénicos. El segundo grupo consiste principalmente en algunos representantes de la academia y organizaciones gubernamentales: la Dra. Alejandra Covarrubias, Alejandra Barrios y la Dra. Amanda Gálvez. Los entrevistados de este grupo representan una postura moderada que evalúa tanto los efectos positivos como los efectos negativos de la Biotecnología y los alimentos transgénicos, así como sus posibilidades de desarrollo en el país. El tercer grupo está constituido principalmente por los representantes de ONGs y especialistas en ciencias sociales: Liza Covantes, Silvia Ribeiro, Mariano Cereijo, el Dr. Víctor Toledo y el Dr. Adolfo Olea. Los representantes de este grupo muestran una actitud de rechazo a los alimentos transgénicos como una de las aplicaciones de la Biotecnología Moderna, pues consideran los riesgos demasiado altos.

1. Postura respecto a la Biotecnología como una herramienta estratégica para lograr el desarrollo de México y de los países del mundo.

El primer grupo considera a la Biotecnología como estratégica para lograr el desarrollo de México y de los países del mundo. El Dr. Agustín López Munguía reconoce la trascendencia que la Biotecnología ha tenido desde hace miles de años en el desarrollo de la humanidad, desde las fermentaciones hasta la Ingeniería Genética; considera que la Biotecnología es algo más que una herramienta dado el amplio campo de aplicación que esta área de investigación tiene en la vida humana. En este sentido, el Dr. José Luis Solleiro comenta que "las áreas en las que la Biotecnología se puede aplicar son múltiples y todas ellas de gran importancia: la salud, la producción agropecuaria, el procesamiento de alimentos, el procesamiento de productos industriales, la recuperación de minerales y biorremediación, etc."

El Dr. Agustín López Munguía enfatiza que el desarrollo de biotecnología nacional es fundamental para contrarrestar el efecto negativo de las grandes compañías multinacionales.

El segundo grupo identifica a la Biotecnología como una herramienta que sí puede ser valiosa y estratégica para un país como México, junto con otras herramientas y



dependiendo de la forma en la que se aplique y maneje. No es la panacea y puede ser útil como cualquier otro desarrollo científico y tecnológico.

Para la Dra. Alejandra Covarrubias, "la Biotecnología es como cualquier otra tecnología, tiene que ser evaluada como una herramienta que puede ser combinada con otras". Considera que "muchos de los problemas que la agricultura presenta, al menos por ahora y por un buen rato, no se van a resolver con Biotecnología que involucre DNA recombinante". En este sentido, se considera que la Biotecnología Tradicional es aún indispensable, no sólo en México, sino en todo el mundo.

Menciona además que "la Biotecnología puede ayudar a solucionar problemas pero siempre y cuando sean claros los objetivos y los problemas que se quieren resolver".

Ahora bien, la Dra. Covarrubias considera que si la Biotecnología resulta ser una tecnología más simple y más barata en la solución de algún problema (así como más conveniente desde el punto de vista social y económico, tendría que ser aplicable y "no dejar de lado el uso de una tecnología por cuestiones políticas o ideológicas". Alejandra Barrios adopta esta misma postura y comenta que "debe impulsarse, no debe detenerse la investigación científica al respecto". En este sentido, ambas especialistas reconocen la necesidad del análisis costo-beneficio y consideran que si la Biotecnología puede resolver un problema urgente (hambrunas, sequías, desastres ambientales, etc.) que otras tecnologías no pueden hacerlo, vale la pena correr los riesgos.

Las entrevistadas representantes de las organizaciones gubernamentales, Alejandra Barrios y la Dra. Amanda Gálvez, destacan un aspecto importante: La Biotecnología debieran ser aplicable a las necesidades propias de México, por lo tanto, el desarrollo de la biotecnología nacional es esencial. Al respecto, consideran que la sequía en las zonas desérticas del norte del país es uno de los principales problemas en la agricultura mexicana y la Biotecnología puede tener el potencial para resolverlo. Sin embargo, la Dra. Amanda Gálvez comenta que "actualmente en México no existe una política o estrategia en torno a la Biotecnología", y por lo tanto, no resulta una herramienta estratégica para el país, es simplemente una herramienta como cualquier otra. Sin embargo, ella coincide con la opinión de los biotecnólogos en que es una herramienta muy moderna e importante que puede lograr rápidamente cambios útiles que antes implicaban mucho tiempo y trabajo.

El tercer grupo considera que aunque la Biotecnología pudiera ser útil en la resolución de algunos problemas, dado el contexto socioeconómico en el que se ha desarrollado (neoliberalismo y globalización), la Biotecnología generará mayor dependencia y desigualdad social, además de los riesgos en la salud humana y en el medio ambiente asociados a esta tecnología.



Mariano Cereijo afirma que los problemas de desarrollo en el mundo tienen motivos políticos y económicos, y por lo tanto, una mera tecnología de punta no puede considerarse como estratégica en este plano. Silvia Ribeiro, por su parte, comenta que tal y como se proyecta la configuración empresarial en el mundo actual, la Biotecnología no puede considerarse como una herramienta para lograr el desarrollo, sino todo lo contrario.

El Dr. Adolfo Olea expone la necesidad de entender los orígenes socioeconómicos de la Biotecnología; menciona que "las tecnologías, en general, no surgen para resolver los problemas de la humanidad *per se*, sino que surgen como proyectos de empresas que pueden ser públicas o privadas y que se dedican a la generación de conocimientos cuyas aplicaciones dan lugar a tecnologías que se patentan y que por ende, son fuente de regalías, de ganancias". Así pues, concluye que "los organismos transgénicos, como una forma de aplicación de la Biotecnología, no tiene para la inmensa mayoría de las naciones, un valor estratégico para el desarrollo de su agricultura, de su economía y la alimentación de sus pueblos, porque es un negocio controlado por tres o cuatro transnacionales que poseen casi todas las patentes biotecnológicas".

Por otro lado, un comentario general en este grupo es que México no tiene las condiciones necesarias para adoptar una tecnología de este tipo. Al respecto, Liza Covantes menciona que en el caso específico de la Biotecnología Moderna, aunque se pueden lograr desarrollos útiles, se requieren fuertes inversiones que difícilmente pueden hacerse en un país como México. El Dr. Adolfo Olea argumenta que "el uso de organismos transgénicos, ya sea en la ganadería o en la agricultura, demanda tener una infraestructura para la producción que sólo las grandes corporaciones agroindustriales tienen, mientras que la mayoría de los agricultores y campesinos en México no poseen los insumos y los medios de producción que se requieren para la Biotecnología Moderna".

Por su parte, el Dr. Víctor Toledo comenta que "no se puede negar el avance de la ciencia ni de la tecnología, ni de la Biotecnología, sino que debemos hacer una crítica profunda y detallada a las modalidades que toma la investigación". El especialista comenta que cualquier ciencia se puede usar para la guerra o para beneficio de la humanidad. En el caso específico de la Biotecnología Moderna, hace alusión a los poderosos intereses de las corporaciones multinacionales detrás de las investigaciones en esta área del conocimiento.

Ahora bien, podría decirse que existe un punto de acuerdo en los tres grupos, la mayor parte de los entrevistados reconocen que bajo circunstancias muy específicas la Biotecnología puede desempeñar un papel fundamental en la solución de algunos problemas en México. Un ejemplo recurrente es el



caso del algodón *Bt* cultivado en el norte de México (Tamaulipas y la Comarca Lagunera). Según la opinión del Dr. Agustín López Munguía, del Dr. José Luis Solleiro, de la Dra. Alejandra Covarrubias y de Alejandra Barrios, el algodón *Bt* ha permitido rescatar el cultivo del algodón en el país mediante una tecnología amigable con el medio ambiente, pues este cultivo transgénico permite la disminución de la aplicación de insecticidas. El Dr. Adolfo Olea, por su parte, reconoce la utilidad de la producción de insulina por microorganismos recombinantes, aunque no identifica beneficios importantes obtenidos a partir de los alimentos transgénicos. Liza Covantes y Silvia Ribeiro reconocen la importancia de la llamada "Biotecnología Tradicional", en lo que se refiere al fitomejoramiento y a la obtención de productos fermentados, aunque prefieren no relacionar este tipo de desarrollos con la Biotecnología o las nuevas tecnologías, sino con el conocimiento empírico o el conocimiento indígena.

2. Postura respecto a los alimentos transgénicos como una opción en México para lograr la seguridad alimentaria.

El primer grupo considera que aunque el problema del hambre en el mundo obedece a políticas económicas, la Biotecnología y los alimentos transgénicos sí pueden contribuir a aumentar la cantidad y calidad de los alimentos.

El Dr. José Luis Solleiro comenta que la Biotecnología junto con otras herramientas "puede ser utilizada en un contexto más amplio de producción de alimentos". Comenta además que el problema agrícola de México para producir sus alimentos es bastante complejo, identificándose al menos tres grandes grupos de productores (los grandes productores tecnificados, los productores en transición y los campesinos minilatifundistas), sin embargo, la Ingeniería Genética sí puede ser un muy valioso auxiliar para los tres niveles, entendida integralmente, ya que lleva no sólo a hacer alimentos transgénicos, sino también a la caracterización molecular de variedades para planificar el fitomejoramiento tradicional. En este sentido, cita el ejemplo de la siembra de soya transgénica en Chiapas con productores del Soconusco. La rentabilidad de la soya convencional en este lugar es \$1.16 por cada \$1.00 invertido, en cambio, con la soya transgénica se obtiene \$1.52 por cada \$1.00 invertido.

El Dr. Solleiro menciona un aspecto relevante y poco comentado, "hablando de alimentos, es importante contemplar que los alimentos transgénicos no sólo provienen de la agricultura, también se cuenta con los microorganismos modificados genéticamente que se utilizan en procesos



microbianos para producir una serie de coadyuvantes de los procesos de transformación; según Agustín López Munguía, más del 50 por ciento de los aditivos que se utilizan en este momento en la industria de alimentos vienen de procesos recombinantes”.

Por su parte, el Dr. Agustín López Munguía menciona que no es adecuado manejar a los alimentos transgénicos como una opción para lograr la seguridad alimentaria pues los beneficios de los organismos genéticamente modificados van más allá de su uso como alimentos, tal es el caso del algodón *Bt*. Con respecto a las diferentes alternativas para lograr la seguridad alimentaria, el Dr. López Munguía afirma que la agricultura orgánica no puede considerarse como una opción, puesto que tal sistema agrícola no permite producir la cantidad de alimento suficiente para cubrir las necesidades de la población en el campo y en las ciudades.

El segundo grupo considera que la Biotecnología y los alimentos transgénicos no son la solución al hambre en el mundo y que existen otras alternativas para lograr la seguridad alimentaria.

Según palabras de la Dra. Amanda Gálvez, “los alimentos transgénicos son un producto más en el mercado y lo que realmente hace falta es una mejor distribución de los productos que normalmente se manejan en el país”. Además, hace referencia a un aspecto muy importante, la seguridad alimentaria se relaciona no únicamente con la cantidad suficiente de alimentos para alimentar a toda la población, sino con la producción de alimentos de alta calidad. Hasta el momento, los alimentos transgénicos que se comercializan no tienen una mejor calidad nutritiva que los alimentos convencionales.

Por otro lado, la Dra. Alejandra Covarrubias comenta que “el problema del hambre es un problema de distribución de alimentos”. Además, menciona que un argumento que utilizan bastante los biotecnólogos y las compañías multinacionales es que los cultivos transgénicos generan mayores rendimientos y por lo tanto contribuyen al logro de la seguridad alimentaria, sin embargo, “hay muchos alimentos que se tiran precisamente porque se tendrían que vender tan baratos que bajarían los precios”, además de que “los monopolios agronómicos diseñan sus estrategias de producción en función de la obtención de la mayor ganancia, no en función de quienes necesitan los alimentos”. La Dra. Covarrubias menciona que lo que se requiere realmente es una política agrícola razonada.

Alejandra Barrios enfatiza un aspecto muy importante, la agricultura en México tiene muchas potencialidades que aún no se han explotado y que pueden resolver mejor el problema alimentario, por lo que “antes de impulsar la Biotecnología sería necesario rescatar las técnicas milenarias de



trabajo de la tierra desarrolladas por comunidades indígenas y campesinas, así como las variedades tradicionales”.

El tercer grupo considera que los alimentos transgénicos no sólo no contribuyen a solucionar el problema del hambre en el mundo, sino al contrario, lo agravan generando mayor dependencia alimentaria. Consideran que dadas las condiciones socioeconómicas en México, el problema del hambre y de la producción de alimentos requieren de otro tipo de soluciones.

Existen dos aspectos muy comentados en este grupo. Por un lado, el Dr. Adolfo Olea, Liza Covantes y Mariano Cereijo mencionan que los cultivos transgénicos en general no han dado los resultados que prometían y anunciaban las compañías que los venden; ni más rendimientos, ni menos agroquímicos, ni menos hambre. Por otro lado, el Dr. Adolfo Olea, Silvia Ribeiro y Mariano Cereijo manifiestan que actualmente se produce suficiente alimento, incluso, más de lo necesario para alimentar a la población mundial en su totalidad, sin embargo, existen países y regiones en donde el acceso a los alimentos es cada vez menor y el problema del hambre aumenta cada vez más.

Además, el Dr. Adolfo Olea comenta sobre la paradoja que se da en Estados Unidos en torno a la producción de alimentos. Este país tiene un excedente productivo gigantesco, sin embargo, es el país que más productos transgénicos cultiva, como si requiriera aumentar su producción agrícola.

Para este tercer grupo resulta trascendental la soberanía alimentaria. En este sentido y a diferencia de lo argumentado por el Dr. Agustín López Munguía, Silvia Ribeiro y Liza Covantes afirman que las prácticas agroecológicas como lo es la agricultura orgánica a pequeña escala sí pueden ser una buena opción para producir el alimento necesario para la población en México y así lograr la soberanía alimentaria. Un ejemplo al respecto lo da el Dr. Adolfo Olea, quien se refiere a la producción orgánica de café en el país que a colocado a México como el tercer o cuarto productor mundial de café.

El Dr. Víctor Toledo, por su parte, menciona que la situación alimentaria es un fenómeno muy complejo que no va a resolverse con una simple tecnología; “la solución biotecnológica no entiende la problemática que implica la producción de alimentos en México”, en este sentido, los alimentos transgénicos no lograrán la seguridad alimentaria, sino todo lo contrario, concordando con la postura de los entrevistados del tercer grupo, como se verá a continuación. Él menciona que existen otras alternativas acordes a la tradición milenaria de producción de alimentos en México y que además son menos riesgosas, como puede ser el uso eficiente de la energía (consumir



directamente pescado, granos y legumbres en lugar de usar estos productos como alimentos para ganado) o prácticas agroecológicas como el uso de abonos verdes.

Así pues, existe una respuesta generalizada (consenso) en los tres grupos en cuanto a que definitivamente los alimentos transgénicos de ninguna forma van a resolver el problema del hambre en el mundo. Esta situación obedece a un problema de distribución o acceso de alimentos como consecuencia de las políticas económicas que se aplican en la actualidad.

3. Postura respecto a la capacidad técnica y científica de México para el desarrollo, siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola.

El primer grupo reconoce la falta de políticas gubernamentales adecuadas para el desarrollo de la Biotecnología en México, sin embargo, identifica casos específicos en los que se ha demostrado que México cuenta con la capacidad técnica y científica para el desarrollo, siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola.

Respecto a este tema, se recurre nuevamente al exitoso caso del algodón *Bt* cultivado en el norte del país como un ejemplo representativo de la capacidad técnica que tiene México para la siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola. Según comenta el Dr. Solleiro, la siembra del algodón *Bt* en el estado de Sinaloa se ha llevado bajo estrictas normas de Bioseguridad y como parte de un proyecto de Manejo Integrado de Plagas, lo que ha dado lugar a un aumento en el rendimiento del algodón.

El segundo grupo enfatiza la falta de políticas de gobierno de alto riesgo favorables para la producción de alimentos transgénicos que respondan a las necesidades propias del país. Este grupo reconoce además la capacidad científica de los investigadores mexicanos para el desarrollo de alimentos transgénicos, sin embargo, reconoce también que la ciencia en el país no se encuentra realmente en un nivel competitivo.

La Dra. Amanda Gálvez comenta algo importante al respecto; en México se siembran y comercializan productos transgénicos, el problema es que ninguno de éstos ha sido desarrollado en el país. Si bien es cierto, en México se tiene la capacidad de investigación para el desarrollo de productos transgénicos novedosos, no existe una estrategia nacional que promueva los desarrollos



mexicanos. En relación a esto, la Dra. Alejandra Covarrubias considera que "México está en posibilidad de usar todas las metodologías modernas que han surgido, pues existe el personal y la capacidad técnica, el problema es que la visión de los políticos en este país es bastante limitada en cuanto al apoyo para el avance de la ciencia y la tecnología". Por otro lado, argumenta que debido a la falta de una visión clara de los problemas reales en México, el desarrollo de productos biotecnológicos aplicables a las necesidades del país se ha visto muy limitado. Menciona además que, "sin quitar el mérito a los grupos que están en lugares como el IBT o el CINVESTAV Irapuato, que pudieran estar en un alto nivel de competencia, la ciencia en el país no se encuentra en un nivel realmente competitivo, para ello se requeriría tener una crítica *ad hoc*".

Ahora bien, un asunto aparte es lo que se refiere a la Bioseguridad. Al respecto, Alejandra Barrios menciona que en cuanto a procesos de análisis de riesgos, CONABIO específicamente tiene toda la capacidad técnica. Esta institución lleva a cabo un análisis de riesgos a nivel de punta (uso de algoritmos predictivos) que está a la altura de los análisis de riesgos que se aplican en los países europeos. Comenta que en cuanto a personal en campo y monitoreo, quizás todavía existan algunas dificultades. Para ello, existe el Proyecto de la Creación de la Capacidad en Bioseguridad (el proyecto GEF, Servicio Global para el Ambiente), surgido a partir del Protocolo de Cartagena, que capacita al personal operativo en materia de Bioseguridad; SEMARNAT Y SAGARAPA participan directamente en dicho proyecto.

El tercer grupo manifiesta que el problema no es cuestionar el que exista o no la capacidad técnica y científica en el país, pues a pesar de que existiese se cae en la red del control del mercado de las patentes que pertenecen a muy pocas multinacionales y que paradójicamente tienen muchos intereses en los laboratorios públicos, según palabras de Silvia Ribeiro. Consideran, por lo tanto, que México de ninguna forma podrá competir con otras naciones en la generación y exportación de Biotecnología Moderna y de productos terminados de alto valor agregado de origen biotecnológico.

En este sentido, el Dr. Víctor Toledo menciona que la brecha tecnológica entre países desarrollados y países tercermundistas es impresionante, de tal modo que difícilmente México podrá competir con otras naciones en la generación y comercialización de organismos transgénicos. Enfatiza además la brecha tecnológica entre los centros de investigación públicos y las corporaciones privadas que dominan el campo de la Biotecnología.

Al respecto, Silvia Ribeiro concuerda con lo argumentado por el Dr. Víctor Toledo y se refiere al hecho de que gran parte de los laboratorios públicos en el país relacionados con desarrollos en



Biotecnología son financiados por las empresas multinacionales, además de que muchas de las herramientas para la creación de organismos transgénicos (promotores, marcadores, vectores de clonación, etc.) están patentados por las multinacionales. Ella menciona el caso específico del Dr. Herrera Estrella del CINVESTAV Irapuato quien recientemente recibió un premio por parte de las multinacionales al haber desarrollado un maíz tolerante al aluminio, a pesar de que existen variedades naturales de maíz tolerantes al aluminio. Aunque si bien es cierto las altas concentraciones de aluminio en suelos tropicales es un problema agrícola mexicano, Silvia Ribeiro opina que ello se debe a las malas prácticas agrícolas y por lo tanto, es este el problema que debiera resolverse.

Ahora bien, el Dr. Adolfo Ola menciona que "no existe un país de tercer mundo que posea una patente para algún cultivo transgénico" y por otro lado, "se tiene prácticamente una probabilidad cero de llegar a tener una, pues el simple registro de una patente cuesta millones de dólares".

Liza Covantes, por su parte, enfatiza que la existencia del proyecto GEF para la Creación de la Capacidad en Bioseguridad pone en evidencia la falta de capacidad técnica y científica de México en cuanto al manejo de riesgos.

4. Postura respecto a las aportaciones de la comunidad científica mexicana en materia de Biotecnología.

En cuanto a esta área de discusión, se involucró específicamente a representantes de la academia e investigadores, por ser ellos quienes tienen más información al respecto.

La mayor parte de los entrevistados coinciden en que si bien es cierto, han habido importantes desarrollos e innovaciones en Biotecnología Moderna, como las aportaciones del Dr. Luis Herrera Estrella del CINVESTAV Irapuato (investigaciones sobre cultivos de maíz tolerantes al aluminio), éstas no han tenido una aplicación o un impacto real. En lo que se refiere a Biotecnología Tradicional que no utilice DNA recombinante, se han identificado más aportaciones.

Al respecto, la Dra. Alejandra Covarrubias comenta que "tecnología generada en México en cuanto a Biotecnología Agrícola con un impacto real no hay ninguna; principalmente está el grupo de CINVESTAV Irapuato que ha tenido la misión de contribuir a la generación de tecnologías aplicadas a la Biotecnología Moderna bajo el liderazgo de Luis Herrera Estrella, por lo demás, siguen siendo



cultivos generados en el CIMMYT o en el INIFAP". Muchos grupos del IBT relacionados con la Biotecnología Agrícola están encaminados a proyectos que pueden tener un impacto a largo plazo. En particular, hay gente que trabaja en plantas con tolerancia a altas temperaturas, o bien, con fijación de nitrógeno. En este sentido, la Dra. Covarrubias enfatiza la urgente necesidad de que la investigación que se haga tenga un impacto real, que los productos que se desarrollen realmente se utilicen: generación de redes universidad-empresa. "No hay compañías o empresas mexicanas que quieran invertir y apoyar investigaciones en Biotecnología porque no tienen una visión de riesgo, no hay empresas biotecnológicas mexicanas". Por otro lado, comenta que "también es importante generar equipos de científicos cuya misión no sea tanto la investigación hacia la generación de algo, sino únicamente producir ciertos elementos biotecnológicos, es decir, no confundir la misión de la universidad con la misión de una unidad de servicio o una unidad técnica". Así pues, INIFAP ha hecho intentos como intermediario entre la universidad y la empresa.

"En cuanto a Biotecnología que no utilice DNA recombinante, como generación de plantas por cultivo de tejidos, regeneración o semilla viva para acortar ciclos de producción (como en el caso de los agaves), han habido más aportaciones y proyectos que han sido apoyados por empresas mexicanas". "Hay grupos en Chapingo, en Colegios de Postgraduados y en universidades de provincia que trabajan en la generación de tecnologías para transformación de cultivos de interés agronómico como papaya, tomate, tabaco o aguacate. Este tipo de proyectos tal vez generan un mayor beneficio económico y son más apoyados".

Por su parte, Alejandra Barrios reconoce los trabajos hechos por el Dr. Luis Herrera Estrella y por el INIFAP, al igual que el Dr. Agustín López Munguía, quien además menciona los esfuerzos realizados por el CINVESTAV en cuanto a las investigaciones sobre el genoma de las diferentes variedades de maíz y frijol. Comenta además las aportaciones de su grupo de trabajo en el IBT, como las investigaciones sobre el pozol y la extracción enzimática de carotenoides de la flor de cempoaxochitl para aplicaciones en la industria alimentaria. Puede decirse que el Dr. Agustín López Munguía ha hecho importantes aportaciones en beneficio de la industria alimentaria, además de las aportaciones ya mencionadas; cabe destacar la aplicación de la lactasa para la producción de leche deslactosada, o bien, la producción de azúcares que no son comunes en la naturaleza.

Ahora bien, el Dr. José Luis Solleiro comenta un aspecto importante y controversial, desde su punto de vista, la Biotecnología en México ha sido secuestrada por el maíz (sin negar su importancia), porque "todos los enormes temores son por el maíz", en consecuencia, "nuestra comunidad científica por más que haga cosas interesantes en el laboratorio, no puede llevarlas a gran escala porque toda la discusión se encuentra atrapada". Menciona que "se han hecho cosas bastante



interesantes que tienen un gran potencial como las investigaciones que se hacen en CINVESTAV sobre genes tolerantes al aluminio, pero existen limitaciones de diversa índole". En este sentido, coincide con lo argumentado por la Dra. Covarrubias, "ninguna institución académica está en condición de hacer las inversiones para llevar estas investigaciones a nivel comercial, se requiere entonces integrarse a un grupo empresarial nacional o extranjero que pueda invertir" (vinculación universidades-empresas). "El problema es que no existe un contexto favorable para la inversión a consecuencia de una regulación poco operativa; las empresas se encuentran en un estado de incertidumbre, por lo que en muchas ocasiones no están interesadas en invertir".

5. Postura respecto a los riesgos potenciales de los alimentos transgénicos en la salud y en el medio ambiente.

POSTURA REFERENTE A LOS RIESGOS EN LA SALUD HUMANA

Los entrevistados del primer y segundo grupo mantienen una postura común en cuanto a los riesgos asociados a la salud humana: No existen riesgos comprobados y conocidos en la salud humana. No hay evidencias. Por el contrario, argumentan que los productos que se encuentran actualmente en el mercado, han tenido que pasar por una serie de pruebas validadas que garantizan la seguridad en la salud. Ningún alimento se ha sometido a tantos análisis de seguridad como los transgénicos.

En este sentido, el Dr. José Luis Solleiro y el Dr. Agustín López Munguía, hacen un llamado de atención a los detractores de la Biotecnología quienes, según su opinión, recurren a los temores más básicos de la población, como lo es la muerte, ya que en muchas ocasiones afirman que los transgénicos pueden causar cáncer. La Dra. Alejandra Covarrubias, por su parte, enfatiza el hecho de que no existen riesgos comprobados y conocidos en la salud humana.

El tercer grupo considera que no existen los estudios científicos suficientes como para asegurar que no existen riesgos en la salud humana, de hecho, se mencionan algunos estudios que indican posibles daños en la salud. Un aspecto importante comentado en este grupo es la historia de la aplicación de tecnologías modernas, como la tecnología nuclear, el uso de fertilizantes y plaguicidas, o bien, el uso de aditivos alimentarios, que



prometían grandes beneficios y que por el contrario, han ocasionado serios daños en la salud humana.

Así pues, Liza Covantes comenta que en el caso de salud, "los estudios que se han hecho han sido a corto plazo pensando en alergias, pero no se han hecho estudios a mediano y a largo plazo. Estos estudios serían necesarios para averiguar la existencia de algún producto del metabolismo secundario que pudiera causar algún problema, tal vez no en el momento de consumo, sino posteriormente". "Este tipo de estudios no les han importado a las compañías productoras de transgénicos". El Dr. Adolfo Olea coincide en este aspecto y menciona la falta de interés en financiar este tipo de estudios.

Silvia Ribeiro, por su parte, comenta que toda la historia de consumo de los últimos cien años ha sido la utilización de la gente como conejillos de indias. Al respecto, el Dr. Adolfo Olea se refiere a obras literarias sobre la historia de los últimos sesenta años de aplicación de tecnologías modernas en la producción de alimentos y otros campos.. "Dados lo efectos que han tenido, y considerando que no se trata de efectos hipotéticos sino de efectos reales, es posible evaluar la viabilidad de estas nuevas tecnologías". "Es muy interesante hacer un ejercicio de analogía con las tecnologías nucleares; cuando se introdujeron estas tecnologías, el optimismo de quienes las impulsaban era tal, que incluso llegaron a decir que la cantidad de radiación producida por las aplicaciones de la energía atómica a la que estaban expuestos lo ciudadanos era tan pequeña que hasta resultaba saludable. Tiempo después se percibieron los efectos negativos, tan es así, que en los últimos años prácticamente no se han construido nuevas plantas nucleoelectricas". "Una analogía del mismo tipo se puede hacer al analizar los efectos del uso de hormonas artificiales en mujeres, vacunos, pollos y gallinas". Menciona además que a pesar de que no existen estudios sistemáticos sobre el efecto de los transgénicos en la salud humana, "existe suficientes pruebas o evidencias de que sí pueden ocasionar algún daño a la salud".

Silvia Ribeiro ofrece ejemplos interesantes al respecto de los posibles daños a la salud humana, como los estudios hechos en el Instituto de Carolina en Suecia, la institución que otorga el Premio Nobel de Medicina; dichos estudios mostraron que el glifosato, uno de los herbicidas más utilizados, puede causar cáncer de ganglio. Otro estudio muy importante al que se refiere es el que se hizo en la Universidad de Newcastle, por pedido del ministerio de Agricultura de Inglaterra. El estudio se hizo con voluntarios (pacientes con colostomía y sin colostomía) a quienes se alimentó con diferentes productos de soya transgénica, de lo que resultó que las bacterias del intestino de los pacientes con colostomía habían adquirido el gen de resistencia a herbicidas (transferencia horizontal). Este último estudio fue muy criticado en su metodología, sin embargo, la especialista comenta que



anteriormente ya habían hecho el mismo experimento en vacas (las cuales tienen un sistema digestivo mucho más elaborado que el nuestro) y las muestras tomadas directamente de las heces mostraron el fenómeno de transferencia horizontal.

Silvia Ribeiro y Liza Covantes se refieren a otro aspecto importante: La Ingeniería Genética emula de modo azaroso lo que por siempre ha hecho la naturaleza por sí misma, por lo tanto, existe también lo que se ha llamado "la caja negra", es decir, los riesgos o efectos desconocidos.

POSTURA REFERENTE A LOS RIESGOS EN EL MEDIO AMBIENTE

Los entrevistados del primer y segundo grupo reconocen los riesgos derivados del flujo génico, sobre todo en lo que se refiere a la pérdida de diversidad genética de cultivos de los cuales México es centro de origen y diversidad genética, tal es el caso del maíz.

El Dr. José Luis Solleiro y el Dr. Agustín López Munguía consideran que los riesgos asociados al medio ambiente sólo son considerables en casos específicos de cultivos como el maíz en México. En casos como éste, deberá considerarse cuidadosamente la posibilidad de liberarse organismos transgénicos en los centros de origen y diversidad genética.

La Dra. Alejandra Covarrubias, por su parte, comenta bastante sobre la incertidumbre que se tiene del efecto del flujo génico en un ecosistema determinado: "No se sabe qué tanto puede afectar el flujo génico el equilibrio ecológico de una región". Menciona además la existencia de algunos datos en los que se muestra que el flujo génico es relativamente alto, además de comentar el caso de la publicación en *Nature* sobre la presencia accidental de transgenes en maíz criollo en Oaxaca y Puebla. Ella comparte la opinión de los ecólogos en cuanto a que al poner en contacto una variedad específica de maíz con un gen novedoso, puede afectarse la evolución de esa variedad de maíz, tal vez no en ese momento sino a largo plazo. "Todavía no se sabe exactamente qué tanto la función del transgen y de los genes que lo acompañan van influir en el ecosistema". Contempla además la posibilidad de cambios en la estructura cromosómica del maíz, lo que podría ocasionar la aparición de sustancias indeseables.

Alejandra Barrios comenta algo importante: "Si a partir del análisis costo-beneficio, el beneficio para la población dentro de una zona determinada va a ser mayor que el riesgo que se pudiera presentar por el flujo génico, los organismos transgénicos podrían liberarse al medio ambiente bajo estrictas normas de Bioseguridad". Menciona además que "la liberación pudiese ser temporal mientras se resuelve un problema específico, en tal caso, el riesgo es menor, pues muchos ecólogos sugieren que un gen que no se utiliza constantemente se pierde a la larga".



El tercer grupo además de considerar los riesgos asociados al flujo génico y a la pérdida de diversidad genética, comenta sobre otros riesgos menos estudiados como la generación de supermalezas o el desarrollo de resistencia en los insectos; consideran que no es sensato utilizar tecnologías de alto riesgo para el ambiente, según palabras del Dr. Toledo.

Al respecto, Liza Covantes menciona que realmente se han hecho muy pocos estudios de impacto ambiental tanto a corto, como a mediano y largo plazo. Muestra además especial preocupación por el desarrollo más rápido de resistencia en insectos en los cultivos *Bt* y por la transferencia de genes de tolerancia a herbicida a parientes silvestres que entonces podrían comportarse como maleza.

Silvia Ribeiro, por su parte, se refiere a la inestabilidad genética del maíz, por lo que considera que el flujo génico puede tener un fuerte impacto en las variedades criollas.

El Dr. Víctor Toledo asume una postura similar a la adoptada comúnmente por las ONGs: "No es sensato utilizar tecnologías de alto riesgo para el ambiente si existen otras alternativas para incrementar la producción de alimentos". Comenta además sobre los pocos trabajos publicados del efecto de los organismos transgénicos en el medio ambiente, coincidiendo con lo comentado por Liza Covantes.

6. Postura respecto a la presencia de transgenes en maíz criollo mexicano.

En cuanto a esta área de discusión, se involucró específicamente a representantes de las organizaciones gubernamentales, por ser quienes están directamente involucrados en la investigación sobre la presencia de transgenes en maíz criollo mexicano.

Según lo comentado por las especialistas entrevistadas, la presencia accidental de transgenes en maíz criollo en Oaxaca y Puebla es real; este hecho se atribuye principalmente al grano no segregado que se importa de Estados Unidos.

La Dra. Amanda Gálvez proporciona la información más reciente que se tiene hasta el momento: "El Consejo Consultivo de la CIBIOGEM recibió de manera oficial a finales del año 2003, el reporte de un grupo *ad hoc* que trabajó para la SAGARPA y para la CIBIOGEM. Los resultados no se pueden manejar al público puesto que se trata de información técnica interna, sin embargo, dichos estudios



corroboran la presencia de los transgénicos en porcentajes pequeños, menores de los que se pensaba y que tienden a desaparecer”. Ahora bien, la Dra. Amanda Gálvez comenta sobre los estudios independientes hechos a petición de ONGs y comunidades campesinas que además de confirmar la presencia de transgenes en altos porcentajes, indican la presencia del transgen del maíz Starlink, prohibido para consumo humano. Ella sugiere que dichos estudios deben someterse antes que nada al escrutinio de un cuerpo colegiado como lo es el Consejo Consultivo de la CIBIOGEM.

Alejandra Barrios, por su parte, menciona que la mal llamada “contaminación genética del maíz” es un problema multifactorial y difícilmente puede hablarse de responsables, aunque identifica las posibles causas: “Podría decirse que el principal problema fue el grano no segregado; mucho fue también el sistema agrícola mexicano, aunque no se puede culpar a los campesinos por sus tradiciones de más de 2000 años de intercambio de granos y la costumbre de guardar semillas. Los campesinos prueban con las semillas que les proporciona Diconsa, y si lo que proporciona Diconsa viene de las 100 millones de toneladas de maíz que se importa de Estados Unidos del cual el 30 por ciento es transgénico, pudo haber sido ésta la causa. Se ha hablado también del contrabando hormiga, es decir, de los campesinos que se van a Estados Unidos a la “pizca” y regresan con granos que prueban en el país”. Por otro lado, hace una crítica a la respuesta gubernamental ante este problema, sobre todo, a la falta de un programa emergente.

7. Postura respecto a los riesgos socioeconómicos.

Se involucró específicamente a representantes de las ONGs, al especialista en ciencias sociales y al Dr. Víctor Manuel Toledo, por ser quienes más están involucrados en esta área de discusión.

En general, los especialistas consideran que los principales riesgos socioeconómicos están relacionados con los sistemas de patentes, la creación de monopolios y los nuevos paquetes tecnológicos, que pueden generar entre otras cosas, patrones de desplazamiento y pérdida cultural. Un caso muy comentado es el de Percy Schmeiser, el primer agricultor demandado penalmente por una empresa multinacional que le acusa de tener en sus campos de cultivo plantas de canola resistentes al Round-Up, a pesar que Schmeiser afirma que no utilizó semillas transgénicas. Para los entrevistados, esto es parte del futuro que les espera a los campesinos.



Silvia Ribeiro considera que los riesgos socioeconómicos son los mayores. En lo que se refiere a las patentes, comenta que en Estados Unidos y Canadá existen más de 2000 juicios contra los agricultores a quienes se acusa de uso ilegal de patentes, tal es el caso de Schmeiser. Esto puede traer como consecuencia que los campesinos sean desalojados de sus tierras. Al respecto, el Dr. Adolfo Olea comenta que "debe considerarse que para la mayoría de los campesinos mexicanos, la tierra tiene un carácter sagrado; si se le quita la tierra al campesino, se le quita su mismo valor como humano, se niega su existencia y su herencia cultural".

Liza Covantes enfatiza sobre el paquete tecnológico requerido para la siembra de los cultivos transgénicos, de tal modo que se depende más de la multinacional para poder cultivar adecuadamente los transgénicos; los cultivos transgénicos actualmente comercializados están en una lógica de una agricultura altamente dependiente de insumos químicos. En relación a esto, Mariano Cereijo comenta que "esta revolución en las prácticas agrícolas supondrá un cambio en las formas de producción del campesino, quien abandonará no sólo las semillas tradicionales (con el riesgo de perderse para siempre), sino las formas de producción, e incluso, las formas de relacionarse y concebir la vida".

El Dr. Víctor Toledo hace un comentario muy importante al respecto: "Las últimas evidencias que se tienen hasta el momento confirman que los campesinos mexicanos practican la agricultura tradicional". "Esta idea de que se abrieron a la tecnología de las variedades mejoradas de maíz es relativo, depende de cada lugar, tal vez esté sucediendo en algunos lugares del norte y centro del país, pero en general, no creo que sea sí". Considera además que la propuesta actual de Biotecnología en términos de alimentos transgénicos, va a tener una especie de expansión pero se detendrá en algún momento.

Ahora bien, otro aspecto muy comentado por el Dr. Adolfo Olea y Liza Covantes se refiere a los altos costos que implica la adopción de una tecnología de este tipo; se trata de tecnologías que son accesibles únicamente a los grandes productores. Según comenta el Dr. Adolfo Olea, esto conlleva a un patrón de desplazamiento; los grandes productores desplazan a los pequeños productores, lo cual tiene un alto costo en el entramado social, agudizándose la crisis en el campo mexicano. "Si el gobierno mexicano, que supuestamente no tiene los recursos necesarios para apoyar las necesidades mayoritarias, destina el poco dinero que hay a apoyar a unos cuantos agricultores que podrían producir con transgénicos y siguen dejando en el abandono total a la mayoría de los campesinos, lo que se va a obtener como resultado, al cabo de unos pocos años, es un proceso de revolución social en el país".



Los riesgos socioeconómicos se ven reflejados también en las comunidades indígenas. Según comenta el Dr. Adolfo Olea, el principal problema en las comunidades indígenas es que "los recursos bióticos son saqueados por las empresas transnacionales biotecnológicas, las cuales con el argumento de que están investigando, hacen lo que se ha llamado la biopiratería".

En cuanto a los riesgos socioeconómicos relacionados con los consumidores, Silvia Ribeiro y el Dr. Adolfo Olea comentan sobre los monopolios agroalimentarios que generan falta de información y manipulación en el consumidor, quien tiene menos opciones para elegir sus alimentos y se enfrenta a la inseguridad alimentaria. Al respecto, Silvia Ribeiro menciona que "en el área alimentaria son diez empresas que manejan más del 40 por ciento de los alimentos que se comercializan en el mercado y la tendencia va en aumento. En la agricultura es mucho más que eso, por ejemplo, en agroquímicos, diez empresas tienen el 90 por ciento del mercado". Directamente relacionado con ello está el hecho de que muchos de los organismos transgénicos se utilizan para la producción de los alimentos procesados en el supermercado, lo que significa una pérdida cultural, una pérdida de la milenaria tradición gastronómica en México.

8. Postura respecto al marco regulatorio vigente en materia de Bioseguridad en México.

Una opinión general en los tres grupos es que el actual marco regulatorio es poco operativo e insuficiente, tanto a nivel internacional como a nivel nacional.

Debido a la diversidad de opiniones respecto a la iniciativa de ley de Bioseguridad recientemente aprobada por el senado mexicano (como parte importante del marco regulatorio), se analizará la postura de cada uno de los especialistas entrevistados por separado.

La mayor parte de los académicos entrevistados relacionados con trabajos en Biotecnología (el Dr. José Luis Solleiro, el Dr. Agustín López Munguía, la Dra. Alejandra Covarrubias y la Dra. Amanda Gálvez) manifiestan que la discusión se ha politizado demasiado, lo que ha dado lugar a un marco regulatorio poco operativo. En cuanto a la iniciativa de ley de Bioseguridad, la consideran razonable en términos generales, en primera instancia porque reúne la opinión de diferentes sectores de la sociedad



interesados en el tema; destacan tres aspectos positivos que contempla dicha iniciativa de ley: el análisis caso por caso, el análisis de riesgos y la especificación de las instancias gubernamentales encargadas de ejecutar la ley.

Así pues, la Dra. Alejandra Covarrubias considera que a pesar de que el marco regulatorio en materia de Bioseguridad en México es complejo y aleatorio, la comisión encargada de aprobar la liberación de cultivos transgénicos en el campo mexicano es muy cuidadosa, o al menos esa fue su experiencia cuando ella formó parte de dicha comisión. Respecto a la iniciativa de ley de Bioseguridad cree que es razonable, aunque muy general, por lo que considera que será efectiva dependiendo de cómo se aplique y de la responsabilidad de las personas encargadas de tomar las decisiones. Un aspecto importante comentado por la Dra. Covarrubias es lo referente a las presiones de las compañías multinacionales que dificultan el establecimiento de políticas de Bioseguridad.

El Dr. Agustín López Munguía también considera adecuada la iniciativa de ley de Bioseguridad y cree que es muy importante que sea aprobada lo más pronto posible por la Cámara de Diputados, pues en México no se aplica ninguna ley de Bioseguridad.

El Dr. José Luis Solleiro, por su parte, enfatiza el hecho de que el político mexicano está hipersensibilizado y no toma una postura definida respecto a los alimentos transgénicos, lo que se ha reflejado en una regulación poco operativa y poco previsible. Según palabras del Dr. Solleiro, "se está dando una paradoja; un aspecto muy discutido es que la Biotecnología está controlada por las multinacionales, las patentes y demás; la regulación es tan estricta que finalmente se ponen cada vez más obstáculos de modo que son las mismas compañías multinacionales las únicas que podrán brincar dichos obstáculos". Respecto a la iniciativa de ley, él considera que podría generar una sobrerregulación, pues contempla una autorización doble SAGARPA / SEMARNAT.

Ahora bien, la Dra. Amanda Gálvez, como especialista en esta área de discusión, comenta aspectos bastante interesantes. Menciona que el marco regulatorio se ha manejado a través de reglamentos e iniciativas de ley de Bioseguridad muy generales, sin embargo, debido a que la discusión está muy politizada, ninguna de las iniciativas de ley ha logrado un consenso importante. En este sentido, considera que se requieren normas más claras, sobre todo en el sector salud y considerando los nuevos desarrollos estadounidenses de maíz transgénico para la producción de sustancias químicas. En cuanto a la iniciativa de ley más reciente, la de la Academia Mexicana de Ciencias, la especialista la considera como una de las más evolucionadas, pues ha tomado la experiencia que se tiene desde 1988 en materia de Bioseguridad.



La Dra. Gálvez se refiere además a un asunto trascendental relacionado con las instancias encargadas de la Bioseguridad en México: "Solamente SAGARPA tiene normas claras y transparentes al respecto, SEMARNAT y SSA no tienen normas, aunque sí tienen comités de Bioseguridad, sin embargo, no trabajan tan abiertamente como la SAGARPA que sí tiene un Subcomité Especializado de Agricultura (SEA) que se encarga de hacer evaluaciones de riesgo".

Respecto al levantamiento de la moratoria a la siembra de maíz transgénico, la especialista afirma que esta decisión fue necesaria, pues es la única forma de llevar a cabo los estudios requeridos para resolver de manera científica las dudas que se tienen sobre el maíz transgénico en México, centro de origen y diversidad genética del maíz.

Alejandra Barrios manifiesta una postura diferente a la de los especialistas anteriormente referidos. Ella considera que lo único que existe formalmente en materia de regulación en organismos genéticamente modificados es la NOM 056 para la liberación experimental de cultivos transgénicos; aunque cree que es insuficiente para regular adecuadamente las prácticas agrícolas actuales con cultivos transgénicos. "Esta norma sólo es aplicable para liberaciones experimentales; liberaciones más allá de 10, 20, 30 hectáreas pueden considerarse como precomerciales, tal es el caso del algodón (2000 ó 3000 hectáreas)".

Con respecto a la iniciativa de ley de Bioseguridad, considera que tiene muchas flaquezas; "desde el punto de vista ambiental contempla lo mínimo y cubre también en lo mínimo los requisitos del Protocolo de Cartagena".

En cuanto a los especialistas del tercer grupo, ellos adoptan una postura común: Consideran que la legislación en materia de Bioseguridad es insuficiente y no sólo eso; los reglamentos, normas e iniciativas de ley que se tienen hasta el momento se conciben como una legislación que protege los intereses de las grandes corporaciones multinacionales, en el caso específico de la iniciativa de ley de Bioseguridad, se describe como una perfecta ley de promoción a los transgénicos. Por otro lado, se considera que los políticos en el país carecen de la información mínima necesaria para legislar, o bien, tienen intereses personales en la agrobiotecnología.

Al respecto, Sílvia Ribeiro identifica varios aspectos negativos en la iniciativa de ley de Bioseguridad, según sus propias palabras "dentro de las leyes de Bioseguridad es mucho peor que otras, está muy por debajo incluso del propio Protocolo de Cartagena con sus debilidades", coincidiendo en parte con



lo comentado por Alejandra Barrios. Por otro lado, menciona que según lo especificado en dicha ley, las decisiones son tomadas principalmente por SAGARPA, secretaría que considera vinculada a los intereses de las multinacionales, de hecho, comenta que el actual secretario de SAGARPA, Víctor Villalobos, fue asesor de la empresa biotecnológica *Pulsar* durante siete años.

Así pues, la especialista hace una severa crítica a las autoridades gubernamentales, menciona que ningún organismo gubernamental, ni la CIBIOGEM, ha demostrado proteger realmente la biodiversidad en México. En el caso de la iniciativa de ley de Bioseguridad, comenta que fue aprobada en la cámara de senadores sin lectura y que "entre los senadores que han aprobado la ley, se encuentra el senador del PRD Rodimiro Amaya Téllez, quien es un agricultor que tiene transgénicos y al que le interesa la liberación de los mismos". El Dr. Adolfo Olea hace también una crítica en este sentido: "Mientras existan Estados que son la negación misma del Estado, que defienden el interés privado, será casi imposible que las leyes se lleven a cabo. Las leyes pasan entonces a ser un instrumento secundario". Así pues, el especialista argumenta que "la creencia de que un marco regulatorio va a resolver los problemas es realmente un dogma de fe". Considera que toda ley y todo reglamento es útil; el problema es que una cosa es la letra de la ley y otra cosa es que se lleve a la práctica.

El Dr. Víctor Toledo, hace una observación importante en esta área de discusión: "El marco regulatorio es demasiado laxo, deben hacerse muchas precisiones, lo más prudente es hacer que toda propuesta de reglamentación circule entre la sociedad civil y grupos académicos antes de que ser aprobada".

Otro aspecto importante comentado por Silvia Ribeiro es el hecho de que los políticos mexicanos subestiman los puntos de vista de las ONGs y de los ciudadanos en general en torno a la Biotecnología. Al respecto, el Dr. Adolfo Olea comenta que es "sólo la comunidad científica la que tiene la voz autorizada para cuestionar la Biotecnología".

Ahora bien, Liza Covantes, por su parte, enfatiza sobre una cuestión fundamental: "Existe el problema de que muchos países como México, no han podido contar como sociedad con un marco regulatorio porque existe una gran presión de las corporaciones que intentan bloquear cualquier intento de marco de Bioseguridad". "Del gobierno de Estados Unidos también hay una presión muy fuerte".



9. Postura respecto a la entrada en vigor del Protocolo de Cartagena de Bioseguridad en México.

Se involucró específicamente a las representantes de organizaciones gubernamentales y de las ONGs, por ser quienes más están involucrados en esta área de discusión.

Las representantes de las organizaciones gubernamentales consideran que el principal punto de discusión para México es el artículo 18IIa del Protocolo, según el cual es suficiente que se notifique únicamente que un cargamento puede llegar a contener OVMs.

Al respecto, Alejandra Barrios considera que este es uno de los principales puntos que tienen que resolverse; "seguramente Estados Unidos va a presionar bastante para que México acepte una notificación de este tipo en un cargamento o nada". Por otro lado, menciona que "para México no implica ningún problema la entrada en vigor del Protocolo de Cartagena pues el país se ha ido capacitando para ello, sin embargo, el Protocolo puede contravenir algunos puntos de acuerdos comerciales, lo que puede dar lugar a barreras no arancelarias ante la OMC". Ahora bien, la especialista considera que desde el punto de vista ambiental, el Protocolo ofrece a México mecanismos adecuados para proteger su biodiversidad.

La Dra. Amanda Gálvez, por su parte, comenta que "el Protocolo de Cartagena es una ley internacional para el movimiento transfronterizo de OVMs y deja muchas cuestiones en manos de la legislación nacional", por lo que considera que México debe trabajar bastante al respecto. En este sentido, hace referencia al arreglo firmado con Estados Unidos y Canadá: "Este arreglo atiende justamente al artículo 18, párrafo 2, artículo A del Protocolo de Cartagena, así como al artículo 12, los cuales indican que las partes y no partes del Protocolo que tengan un arreglo comercial deberán hacerlo dentro de los mecanismos del Protocolo; entonces, justamente para atender a las necesidades del Protocolo, se ha firmado este arreglo comercial, como una forma de presionar a Estados Unidos y Canadá, que son países no parte, a cooperar con información e intercambio científico con México que es un país parte".



Las representantes de las ONGs consideran que el Protocolo de Cartagena no es el instrumento ideal para proteger la biodiversidad en México e identifican algunas deficiencias, sin embargo, creen que puede ser útil para un país como México que no cuenta con una ley de Bioseguridad.

Al respecto, Liza Covantes comenta que aunque el Protocolo de Cartagena no es muy fuerte ni es el mejor, ya es un marco legal que le sirve a cualquier país como México, que tiene mucha diversidad biológica que cuidar y que además, no cuenta con un marco legal nacional. Considera que a Estados Unidos no le interesa ningún instrumento que con el afán de proteger al medio ambiente o la salud de la gente, pueda obstaculizar el comercio; he aquí la razón de su oposición al Protocolo de Cartagena.

Silvia Ribeiro, por su parte, considera que el Protocolo de Cartagena es bastante pobre pues sólo aplica a OVMs, "entonces si se manda a México una semilla que es para procesamiento de alimentos o para procesamiento animal, el Protocolo no tiene ningún mecanismo; es más débil de lo que se piensa, por algo las empresas estuvieron trabajando en él y demoró tanto en salir". Ahora bien, comenta que el Protocolo puede ser utilizable, pero exige un nivel de activismo, de compromiso social. Por otro lado, la especialista comenta sobre un asunto importante, el caso de que México no aprobara un embarque. En este sentido, menciona que en estos momentos Estados Unidos está llevando a juicio a Europa, al panel de la OMC; en México podría darse una situación similar, sin embargo, ello exigiría de México gastar millones de dólares en un juicio, con el riesgo de perderlo.

10. Postura respecto al etiquetado.

Al respecto, los especialistas del primer grupo consideran que el etiquetado obligatorio no es la mejor opción de información a los consumidores. Consideran que es más importante que el consumidor tenga la certeza de una autoridad supervisando la calidad e inocuidad de los alimentos que consume.

Así pues, el Dr. José Luis Solleiro considera que la equivalencia sustancial es una mejor opción. "Cuando los productos son nutricionalmente equivalentes, no hay una razón para hacer una diferenciación en función del proceso; si se empezara a seguir esta corriente que consiste en etiquetar en función al proceso de producción, se puede caer en una esquizofrenia de información".



En este sentido, el Dr. Solleiro considera esencial proporcionar información clara y objetiva al consumidor en torno a la Biotecnología y los alimentos transgénicos; menciona que el papel del científico es fundamental, pues goza de gran credibilidad con el público.

El Dr. Agustín López Munguía coincide con lo manifestado por el Dr. Solleiro y enfatiza la necesidad de que el consumidor tenga la certeza de una autoridad supervisando la calidad e inocuidad de los alimentos que consume; considera que finalmente el consumidor pocas veces revisa la etiqueta, en el mejor de los casos, revisa la fecha de caducidad.

Los especialistas del segundo grupo consideran que el etiquetado es un derecho del consumidor, aunque dudan que sea el mejor medio de información.

Al respecto, la Dra. Alejandra Covarrubias considera que el problema del etiquetado en nuestro país y en muchos otros es que como los transgénicos han pasado por una publicidad que los ha satanizado, entonces los consumidores que han estado al tanto de esta publicidad y ven una etiqueta que dice "producto transgénico" tal vez no lo va a comprar. Sin embargo, "el etiquetado es una obligación de quien vende y un derecho de quien compra". Comenta también que habría que pensar también si esta regla de etiquetado va a ser aplicada a cualquier otro alimento; "un pan hecho de triticale se ha comido con la mayor tranquilidad, sin embargo, el triticale es un verdadero monstruo genético, un híbrido de dos especies diferentes".

Alejandra Barrios, por su parte, comenta algo importante: "El etiquetado de los alimentos transgénicos no tiene caso si lo que se escribe en la etiqueta no es información clara, verídica, accesible y suficiente; de lo contrario, la etiqueta lejos de ayudar, puede generar incertidumbre".

Para el tercer grupo, el etiquetado es un derecho fundamental del consumidor, la defensa de tal derecho requiere que los consumidores estén informados y organizados.

Así pues, el Dr. Adolfo Olea comenta que "una prueba de que la gente si estuviera informada preferiría comer alimentos más saludables, y no los transgénicos, es que ha habido sistemáticamente una negativa por parte de las compañías a que se etiqueten los alimentos transgénicos como tales". Por otro lado, habla de la necesidad de organización de los consumidores para proteger sus derechos, tal y como ha sucedido con los consumidores europeos quienes exigen a las empresas el etiquetado de los alimentos. Al respecto, Mariano Cereijo comenta que en Europa existe un repudio generalizado a los alimentos transgénicos, el problema ha sido que los políticos anteponen los intereses de las multinacionales al de los ciudadanos, por lo que los alimentos transgénicos siguen comercializándose, aunque cabe mencionar que son etiquetados.



Ahora bien, un aspecto aparte es lo que se refiere a la identificación de productos a granel, esto es elemental para Alejandra Barrios. "Tal vez no sea posible la segregación, pero sí la identificación". "En Estados Unidos se sabe muy bien qué es lo que se siembra cada temporada, por lo que perfectamente se podría indicar qué cargamentos pudieran contener transgénicos y en qué proporciones; ante una notificación de esta índole, las instancias gubernamentales tomarán las medidas de bioseguridad necesarias". El Dr. José Luis Solleiro no opina lo mismo, él considera que procedimientos de este tipo en las aduanas son muy complejos y prácticamente imposibles de ejecutarse.



2. ENTREVISTAS CON CONSUMIDORES

La actitud de los consumidores ante la Biotecnología y los alimentos transgénicos es un factor determinante en las posibilidades de desarrollo e implementación de estas nuevas tecnologías y por ende, en las políticas comerciales aplicadas a alimentos transgénicos (Frewer, 2003; Nielsen *et al.*, 2003). En general, los consumidores en países como Estados Unidos, Argentina y China han aceptado los alimentos transgénicos y su producción aumenta año tras año; en cambio, la mayor parte de los consumidores en los países de la Unión Europea y en Japón rechazan los alimentos transgénicos, lo que ha generado en muchos de estos países la exigencia del etiquetado obligatorio y una moratoria de facto a la siembra de cultivos transgénicos nuevos (Frewer, 2003; Nielsen *et al.*, 2003).

Así pues, el objetivo del presente estudio fue conocer la percepción que se tiene de los alimentos transgénicos entre los consumidores de la Ciudad de México y zona metropolitana, así como los diferentes factores que influyen en la percepción pública como son: género, tipo de centro de comercialización, zona geográfica de muestreo, ocupación y nivel de estudios.

Casi todos los estudios sobre la percepción pública de nuevas tecnologías se han realizado en países industrializados. Con frecuencia, la actitud pública en países en vías de desarrollo como México ha sido descuidada puesto que se asume que la mayoría de la gente en estos países tiene escaso conocimiento sobre el impacto de las nuevas tecnologías, entre ellas la Biotecnología. En los últimos años, pocos estudios de percepción sobre Biotecnología y OGMs se han realizado con consumidores mexicanos. Durante el año 2002, una agencia especializada en estudios de mercado y opinión pública, MUND Américas, efectuó una secuencia de tres estudios de campo sobre Biotecnología y productos transgénicos (Lund, 2004). Sin embargo, no se han reportado estudios especializados de instituciones oficiales.

Por otro lado, México es partícipe activo del Proyecto UNEP-GEF que involucra la Evaluación del Marco Nacional de Bioseguridad, de acuerdo con los principales requisitos del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad. Este acuerdo estipula, dentro de otros temas, en su Artículo 23, la concienciación y participación del público en lo relativo a su aplicación. Por ello, este artículo entiende lo siguiente:



" 1. Las Partes: a) Fomentarán y facilitarán la concienciación, educación y participación del público relativas a la seguridad de la transferencia, manipulación y utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana. Para ello, las partes cooperarán, según proceda, con otros estados y órganos internacionales. b) Procurarán asegurar que la concienciación y educación del público incluya el acceso a la información sobre organismos vivos modificados identificados de conformidad con el presente Protocolo que pueden ser importados.

2. Las Partes, de conformidad con sus leyes y reglamentos respectivos, celebrarán consultas con el público en el proceso de adopción de decisiones en relación con organismos vivos modificados y darán a conocer al público los resultados de estas decisiones, respetando la información confidencial según lo dispuesto en el artículo 21.

3. Cada Parte velará porque su población conozca el modo de acceder al Centro de Intercambio de Información sobre seguridad de la Biotecnología ".

Es por esto que, con el fin de tener una aproximación sobre la percepción pública en México, se realizó el presente estudio (en el apartado III se describe la metodología llevada a cabo en el trabajo de campo).

2.1 Conocimiento y opinión sobre alimentos transgénicos

Lo que puede observarse a partir de los resultados obtenidos es que el nivel de conocimiento sobre el término "alimento transgénico" es superficial y relativamente bajo, el 57 por ciento de los encuestados (400 personas) nunca ha escuchado el término y sólo el 7 por ciento de los encuestados reconoce haber escuchado bastante del tema (Fig. 20). Habría que mencionar que la mayor parte de los encuestados que reconocieron haber escuchado el término dieron una respuesta que no fue espontánea ni segura, sino que demostró un nivel de conocimiento muy incipiente o vago.

Ahora bien, en la figura 21 se puede observar que de los encuestados que afirmaron haber escuchado el término "alimento transgénico", el 67 por ciento tiene un concepto claro del mismo, es decir, la mayor parte define a los alimentos transgénicos como alimentos y organismos genéticamente modificados. Sin embargo, un porcentaje significativo de los encuestados tiene un concepto equivocado y relaciona el término "transgénico" con alimentos no naturales hechos a base de químicos que pudieran ser tóxicos (Fig. 21).



Figura 20: Conocimiento de la muestra poblacional sobre el término "alimentos transgénicos"

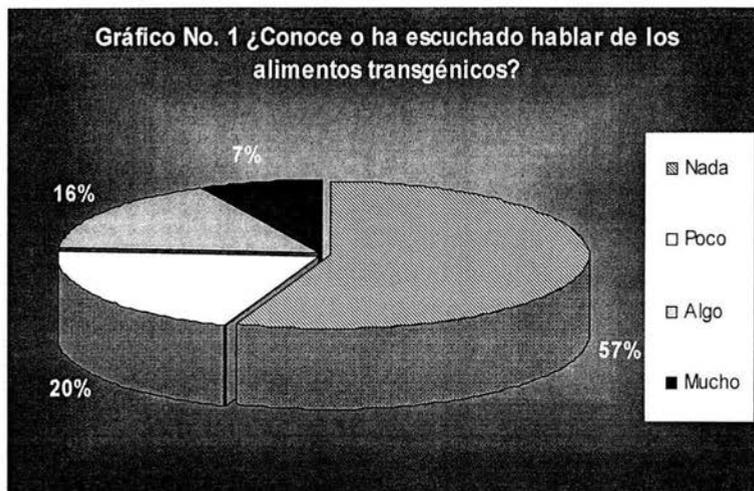
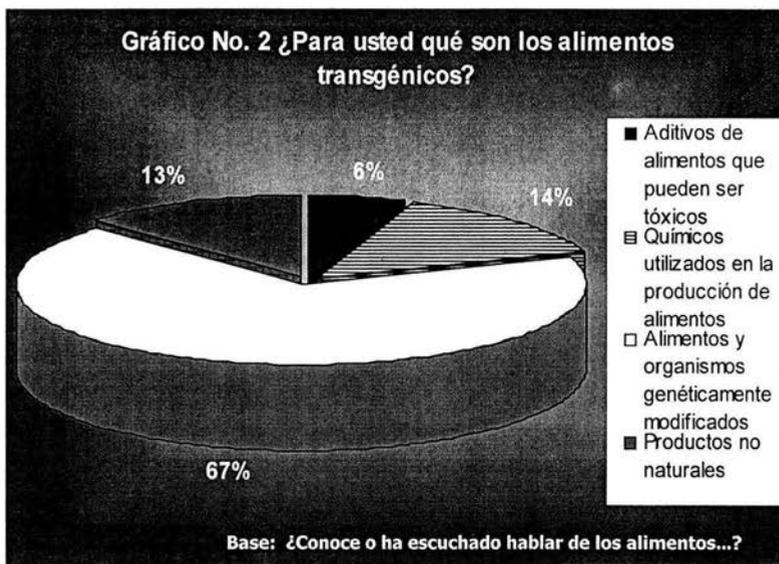


Figura 21: Conocimiento de la muestra poblacional sobre el significado del término "alimentos transgénicos"





Quienes no mencionaron la existencia de alimentos transgénicos tampoco pudieron afirmar que no existan, sino que en general dicen no poder emitir una opinión al respecto.

La mayor parte de los encuestados que afirmaron haber escuchado el término dudan acerca de la seguridad los alimentos transgénicos y los conciben como posiblemente riesgosos.

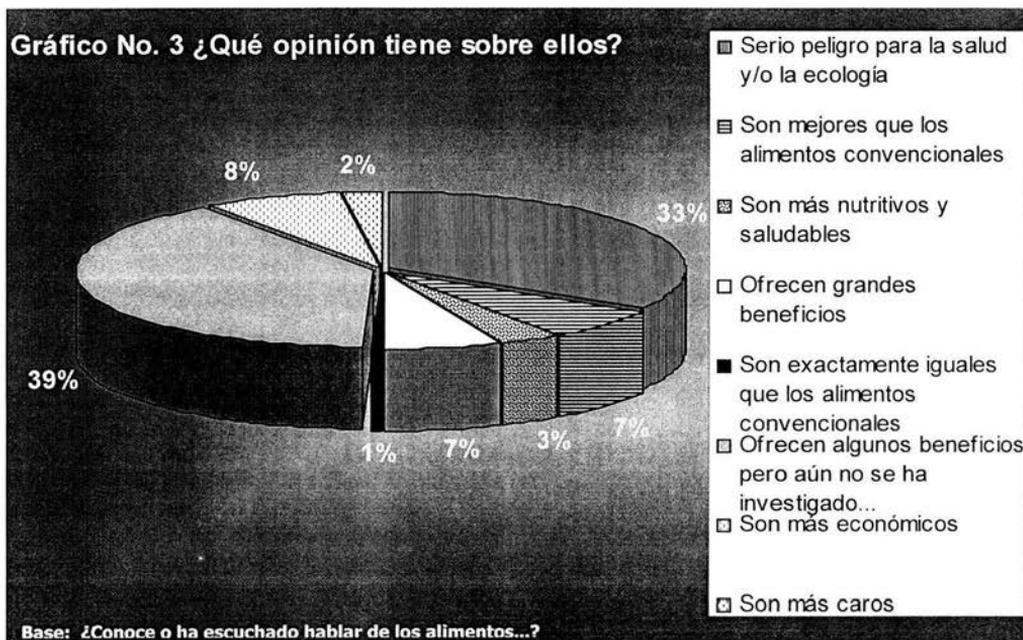
Así pues, el 33 por ciento de los entrevistados creen que pueden ser riesgosos para la salud o la ecología, mientras que el 39 por ciento de los entrevistados creen que pueden ofrecer algunos beneficios pero que aún no se ha investigado lo suficiente sobre sus posibles riesgos (Fig. 22). Se observó que muchos de los consumidores establecen una relación entre "productos no naturales" y "riesgos a la salud", por lo que muchos de los encuestados que conciben a los alimentos transgénicos como productos no naturales los consideran peligrosos para la salud. Aquellos entrevistados que mostraron un conocimiento mayor sobre el tema opinaron sobre sus posibles beneficios y sobre la falta de investigación en cuanto a sus posibles riesgos. Algunos entrevistados, la mayor parte de ellos relacionados con estudios sobre ciencia y tecnología, opinaron que los alimentos transgénicos pueden ofrecer grandes beneficios y ser mejores que los alimentos convencionales. Así pues, el 7 por ciento de los entrevistados piensa que los alimentos transgénicos pueden ofrecer grandes beneficios y otro 7 por ciento piensa que pueden ser mejores que los alimentos convencionales. Se observó también que un porcentaje importante de los entrevistados, 8 por ciento, piensa que los alimentos transgénicos pueden ser más económicos que los alimentos convencionales. Ello puede deberse a que suponen una menor calidad en los alimentos transgénicos.

2.2 Medios de información

En términos generales, la formación de la percepción individual sobre los riesgos y beneficios de una nueva tecnología, es un proceso influido por fuentes seleccionadas de información, valores, intereses, y experiencia personal. En el caso de los alimentos transgénicos, mucha gente no cuenta con experiencia personal por lo que debe de confiar enteramente en la información que reciben de otras fuentes, las cuales pueden ser rumores, experiencias de gente que está en contacto con la nueva tecnología, o bien, que utiliza sus productos, declaraciones de la industria, del gobierno, de la academia, de grupos de interés público, y sobre todo, de reportajes en los medios masivos de comunicación.



Figura 22: Opinión de la muestra poblacional sobre los alimentos transgénicos



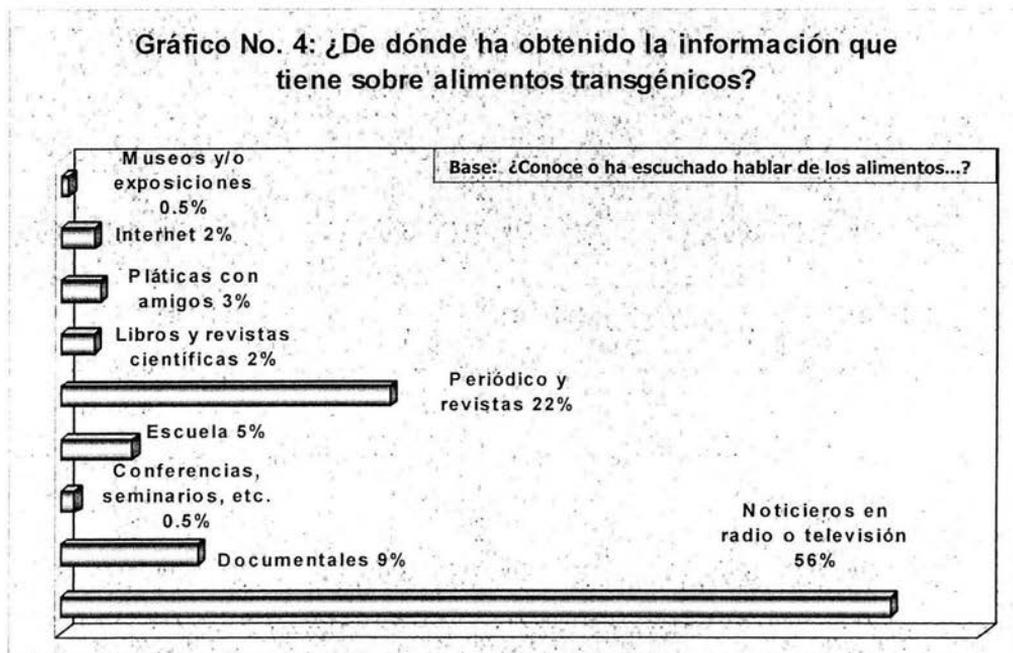
Los principales medios de información para la mayor parte de los entrevistados fueron la televisión, el radio y el periódico. El 56 por ciento de los entrevistados afirma haber obtenido su conocimiento sobre alimentos transgénicos de noticieros en televisión o radio, mientras que el 22 por ciento de los entrevistados obtuvieron información de periódicos y revistas (Fig. 23). Se reportaron también medios de información más confiables, tales como libros y revistas científicas (3 por ciento), documentales (9 por ciento) y la escuela (5 por ciento). Sólo el 2 por ciento de los entrevistados se informó a través de Internet. Cabe mencionar que, los entrevistados que mencionaron haber obtenido información a partir de estos últimos medios de información mostraron un nivel de conocimiento más alto en torno a los alimentos transgénicos.

En cuanto a los medios electrónicos de comunicación, principal medio de información de la muestra encuestada, podemos mencionar que en países como México en donde la cifra de analfabetismo es de 25 por ciento, este medio juega un papel relevante en el tipo y calidad de información que se tiene sobre el tema. Haciendo un breve análisis sobre la información proporcionada a la población,



solamente se comunican noticias aisladas, sobre todo notas referentes a protestas y manifestaciones de las ONGs como Greenpeace. Sin mencionar información que permita entender claramente que son los alimentos transgénicos y sus posibles impactos.

Figura 23: Principales medios de información sobre alimentos transgénicos para la muestra poblacional.



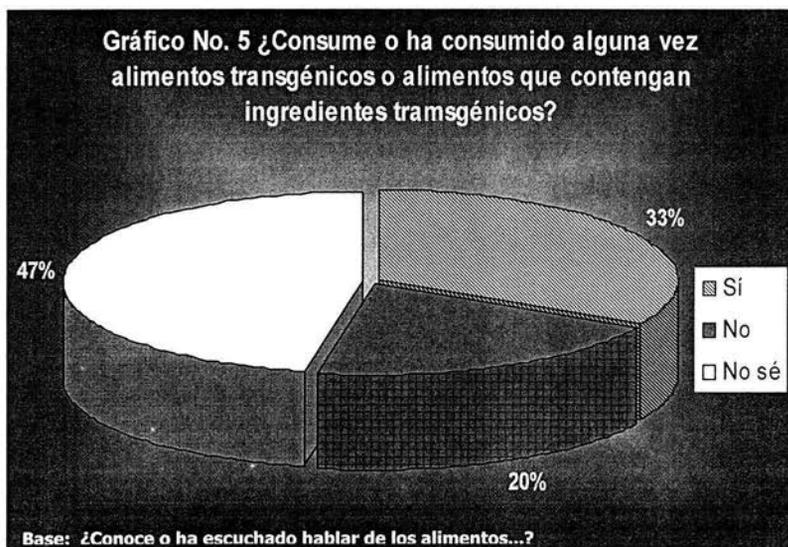
2.3 Consumo de alimentos transgénicos

Ahora, si bien el nivel de conocimiento superficial sobre el término "alimento transgénico" es relativamente bajo, existe una gran confusión respecto a sus implicaciones y productos asociados, el 47 por ciento de los entrevistados no sabe si ha consumido alimentos transgénicos en alguna oportunidad y sólo el 33 por ciento admite haberlo hecho. Por otro lado, el 20 por ciento afirma



que nunca ha consumido alimentos transgénicos, lo cual es muy poco probable dada la amplia variedad de alimentos transgénicos comercializados en el país (Fig. 24).

Figura 24: Consumo de alimentos transgénicos según la muestra poblacional



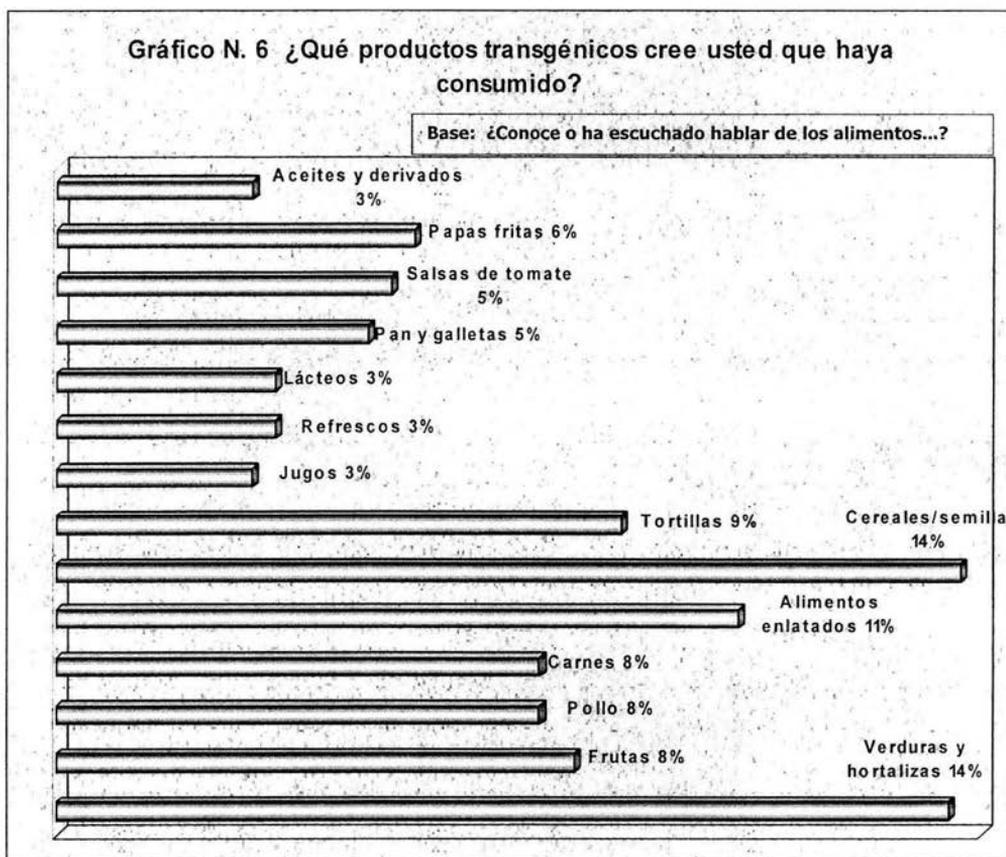
De acuerdo a la figura 25, puede observarse que los entrevistados que reconocen haber consumido alimentos transgénicos y aquellos que no lo saben pero lo suponen, identificaron productos alimenticios que sí pueden llegar a ser alimentos transgénicos, sin embargo, sólo el 14 por ciento supone que pudo haber tenido acceso a alimentos transgénicos al consumir productos elaborados a partir de cereales o semillas (Fig. 25), a pesar de que los cereales y sus productos derivados son las principales materias primas de los alimentos transgénicos que se comercializan actualmente en el mercado.

El 9 por ciento de los entrevistados relaciona a los alimentos transgénicos con las tortillas, lo cual es correcto, pues estos productos se elaboran a partir de maíz, uno de los principales cultivos transgénicos. Un 14 por ciento más de los entrevistados cree haber consumido alimentos transgénicos al consumir verduras y hortalizas, lo cual es posible hasta cierto punto, pues aunque son pocas las verduras transgénicas comercializadas actualmente en el país (algunas variedades de jitomate, por ejemplo), sí existen una gran variedad de productos elaborados a partir de éstas, sobre



todo, las salsas de tomate (el 5 por ciento de los entrevistados relaciona las salsas de tomate con los alimentos transgénicos). Muchos entrevistados también suponen que al consumir pollo y carne (8 por ciento) posiblemente estén consumiendo transgénicos. Esto sólo es en parte correcto, si se considera que el pollo o la res pudieron haber sido alimentados con granos transgénicos. Cabe aclarar que se observó que los entrevistados que reconocieron al pollo y la carne como posibles alimentos transgénicos relacionaron a los mismos con animales genéticamente modificados o con la aplicación de hormonas al ganado.

Figura 25: Productos transgénicos consumidos según la muestra poblacional





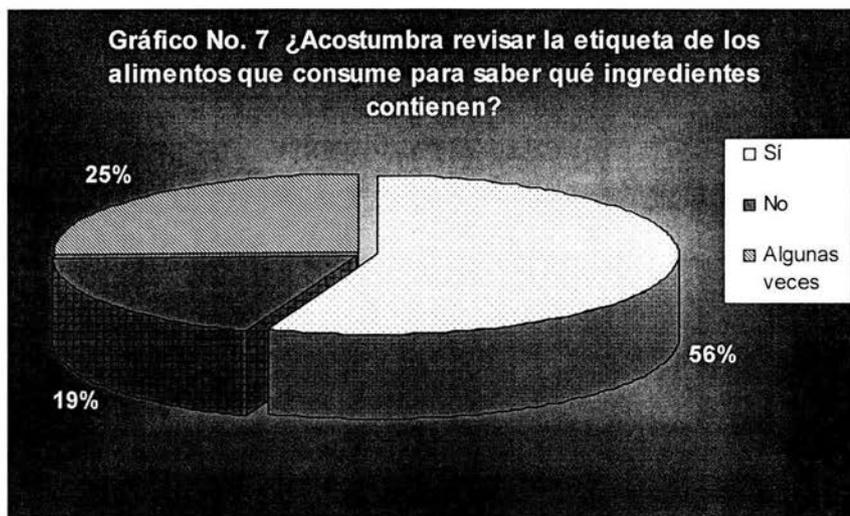
Resulta curioso el hecho de que un porcentaje considerable de los consumidores (11 por ciento) suponga que los enlatados pueden ser alimentos transgénicos, esto se debe en gran medida a que se relaciona al alimento transgénico con un producto no natural.

2.4 El etiquetado y los alimentos transgénicos

La confusión que existe en el consumidor puede deberse, en gran medida, a que los alimentos transgénicos no se etiquetan como tales. Algunos han argumentado que no es conveniente el etiquetado de los alimentos transgénicos porque el consumidor ha estado inmerso en una fuerte campaña de satanización de los alimentos transgénicos, y por otro lado, porque el consumidor no tiene la costumbre de revisar la etiqueta.

Sin embargo, el estudio mostró que casi el 80 por ciento de los entrevistados admite haber revisado la etiqueta para conocer los ingredientes de los alimentos que consume (Fig. 26). El 56 por ciento afirmó hacerlo siempre y el 25 por ciento sólo en algunas ocasiones. No obstante, habría que considerarse que muchos entendieron por etiqueta fecha de caducidad.

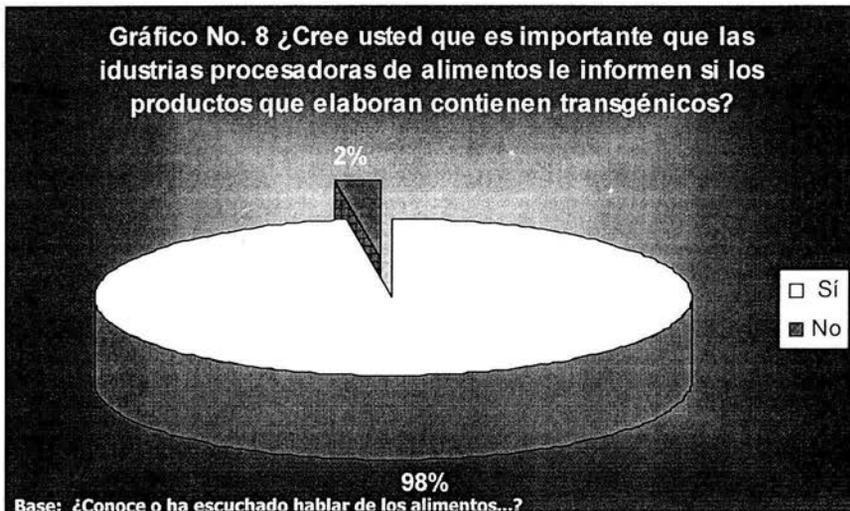
Figura 26: El interés por revisar la etiqueta de los alimentos consumidos según la muestra poblacional





Ahora bien, el 96 por ciento de los entrevistados considera importante el etiquetado de los alimentos transgénicos como tales (Fig. 27). Cabe destacar que el 2 por ciento de los entrevistados que no consideran importante el etiquetado son aquellos quienes ubican a los transgénicos como alimentos mejores que los convencionales que ofrecen grandes beneficios, o bien, que los consideran exactamente igual que los alimentos convencionales. Entre los entrevistados que no consideraron importante el etiquetado de alimentos transgénicos como tales se encontró a una ciudadana norteamericana, ya bastante familiarizada con los alimentos transgénicos, y una investigadora del Instituto Politécnico Nacional.

Figura 27: Opinión de la muestra poblacional sobre el etiquetado de los alimentos transgénicos





2.5 Los factores que influyen en el conocimiento sobre alimentos transgénicos

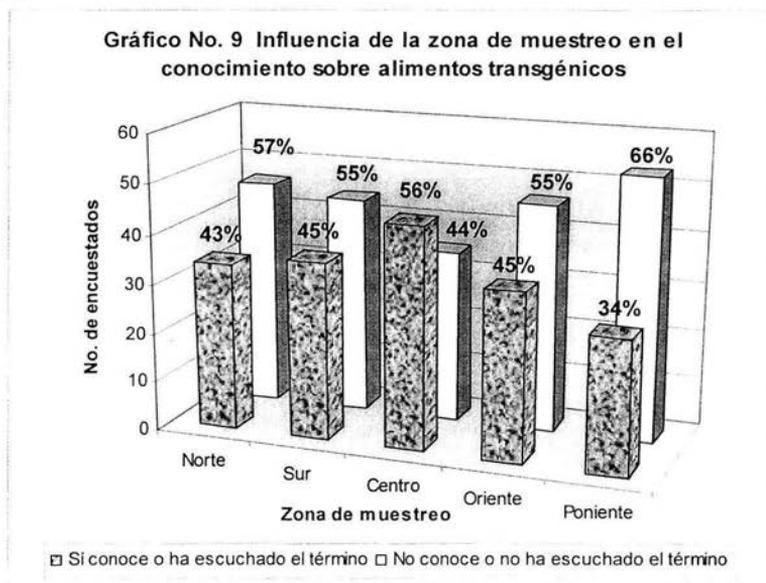
Como puede observarse en la tabla 23, los principales factores que influyeron en el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos, según el estudio realizado, fueron el nivel de estudios y la ocupación, factores que están estrechamente relacionado con el acceso a fuentes de información confiables y a la calidad de información recibida.

Tabla 23:: Factores que influyen en el conocimiento sobre alimentos transgénicos

| Variable | H ₀ | H ₁ | χ^2 (referencia) | χ^2 (calculada) | Toma de decisión |
|----------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------|--|
| Zona de muestreo | El conocimiento sobre alimentos transgénicos es independiente de la zona de muestreo. | El conocimiento sobre alimentos transgénicos no es independiente de la zona de muestreo. | 7.815 | 8.4619 | $\chi^2_C > \chi^2_R$ Se rechaza H ₀ |
| Nivel de estudios | El conocimiento sobre alimentos transgénicos es independiente del nivel de estudios. | El conocimiento sobre alimentos transgénicos es no independiente del nivel de estudios. | 9.488 | 40.8727 | $\chi^2_C > \chi^2_R$ Se rechaza H ₀ |
| Ocupación | El conocimiento sobre alimentos transgénicos es independiente de la ocupación. | El conocimiento sobre alimentos transgénicos no es independiente de la ocupación. | 9.488 | 47.7575 | $\chi^2_C > \chi^2_R$ Se rechaza H ₀ |
| Centro de comercialización | El conocimiento sobre alimentos transgénicos es independiente del centro de comercialización. | El conocimiento sobre alimentos transgénicos no es independiente del centro de comercialización. | 3.841 | 6.8588 | $\chi^2_C > \chi^2_R$ Se rechaza H ₀ |
| Género | El conocimiento sobre alimentos transgénicos es independiente del género. | El conocimiento sobre alimentos transgénicos no es independiente del género. | 3.841 | 4.4898 | $\chi^2_C > \chi^2_R$ Se rechaza H ₀ |



Figura 28: Influencia de la zona de muestreo en el conocimiento sobre alimentos transgénicos



La zona de muestreo es un factor que podría estar relacionado con el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos. Según el estudio realizado y como se observa en la tabla 23, sí hubo diferencia significativa entre las distintas zonas de muestreo. En la zona centro, un poco más de la mitad de los encuestados (56 por ciento) reconoció haber escuchado el término "alimentos transgénicos" (Fig. 28). En cambio, en la zona poniente la mayor parte de los entrevistados (66 por ciento) manifestó no haber escuchado el término "alimentos transgénicos". En las zonas norte, sur y oriente el nivel de conocimiento entre los entrevistados fue similar, un poco más de la mitad (55-57 por ciento) de los entrevistados reconoció no haber escuchado el término "alimentos transgénicos". Lo que puede comentarse a partir de estas observaciones es que es en la zona centro donde es más alto el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos, ello en gran medida debido a que los consumidores en esta zona generalmente tienen más acceso a la información, además de que parte del muestreo se realizó en el mercado de "La Merced", donde circula mucha información sobre el origen de los productos que se venden en este establecimiento. Por otro lado, se observó que un porcentaje significativo de los entrevistados en esta zona tienen licenciatura como nivel de estudios.



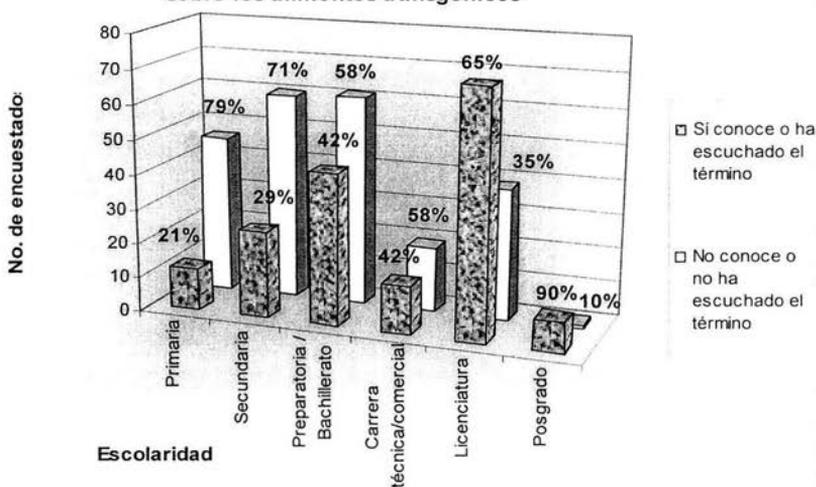
Ahora bien, la zona en la que se verificó un menor conocimiento sobre alimentos transgénicos fue en la zona poniente, a pesar de que parte del muestreo se realizó en el "Centro Comercial Santa Fe", donde una proporción importante de la gente que acude a este establecimiento tiene un nivel socioeconómico alto. Sin embargo, se observó que la mayor parte de los entrevistados en este lugar mostraron una actitud indiferente ante este tipo de temas.

En las zonas norte, sur y oriente una buena proporción de los entrevistados en distintos centros comerciales (Wall-Mart, Bodega Aurrerá y Plaza Oriente) reconocieron haber escuchado el término "alimentos transgénicos) aunque en los mercados dicha proporción fue menor, por lo que el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos fue mayor que en la zona poniente pero menor que en la zona centro.

Sería importante repetir el estudio con un tamaño de muestra mayor para corroborar si realmente existe una diferencia significativa entre las distintas zonas de muestreo, además de definir claramente cuál es el nivel socioeconómico en cada zona de muestreo. Según el estudio realizado por la agencia MUND Américas, la zona de muestreo no influye en el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos.

Figura 29: Influencia del nivel de estudios en el conocimiento sobre alimentos transgénicos

Gráfico No. 10 Influencia del nivel de estudios en el conocimiento sobre los alimentos transgénicos

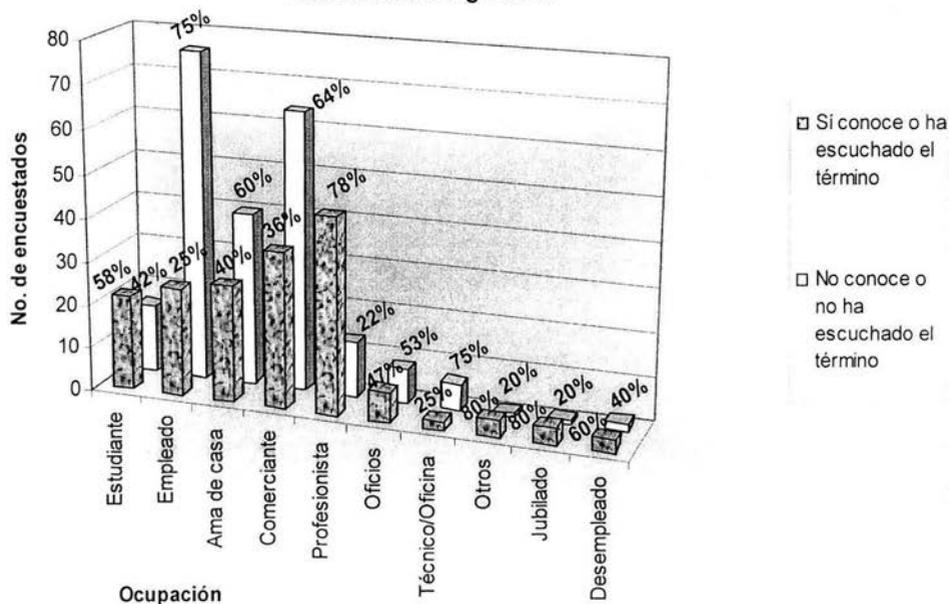




Como puede observarse en la figura 29, la mayor parte de los entrevistados con licenciatura o posgrado conocen sobre alimentos transgénicos, mientras que la mayor parte de los entrevistados con nivel de estudios menor no conoce sobre alimentos transgénicos. Así pues, de los entrevistados con escolaridad de primaria el 79 por ciento no ha escuchado el término "alimento transgénico", mientras que el 71 por ciento de los entrevistados con escolaridad de secundaria tampoco ha escuchado el término "alimento transgénico". En cambio, el 65 por ciento de los entrevistados con licenciatura y el 90 por ciento de los entrevistados con posgrado sí han escuchado el término "alimento transgénico". Los entrevistados con mayor nivel de estudios tienen acceso a información diversa y confiable, en cambio, en los entrevistados con menor nivel de estudios la televisión es el principal medio de información, lo que se refleja en un escaso conocimiento sobre temas relacionados con ciencia y tecnología.

Figura 30: Influencia de la ocupación en el conocimiento sobre alimentos transgénicos

Gráfico No. 11 Influencia de la ocupación en el conocimiento sobre alimentos transgénicos





Ahora bien, la ocupación es otro factor importante que influyó en el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos, aunque si bien es cierto, la ocupación guarda una estrecha relación con el nivel de estudios.

La mayor parte de los entrevistados con licenciatura o posgrado son profesionistas, quienes según la figura 30, fueron quienes mostraron el nivel de conocimiento más alto sobre alimentos transgénicos; el 78 por ciento de los profesionistas entrevistados manifestaron haber escuchado el término "alimentos transgénicos". Por otro lado, la mayor parte de los entrevistados con primaria, secundaria, preparatoria o carrera técnica son empleados o comerciantes, de los cuales el 75 por ciento de los empleados entrevistados y el 60 por ciento de los comerciantes entrevistados nunca han escuchado el término "alimentos transgénicos". En lo que respecta a los estudiantes entrevistados (la mayor parte de ellos con un nivel mínimo de escolaridad de preparatoria), el 58 por ciento reconoce haber escuchado el término "alimentos transgénicos".

Resulta también interesante definir cuál es el nivel de conocimiento en las amas de casa quienes son las que generalmente deciden qué productos alimenticios consume la familia. Según el estudio realizado, más de la mitad de las amas de casa entrevistadas (60 por ciento) nunca ha escuchado el término "alimentos transgénicos".

Como ya se ha hecho notar, el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos se vio influenciado también por el tipo de centro de comercialización de alimentos, tal y como se observa en tabla 23. Según la figura 31, el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos es mayor en los centros comerciales que en los mercados, ello puede deberse a que la gente que acude a los mercados generalmente tiene un nivel socioeconómico más bajo que la gente que acude a los centros comerciales.

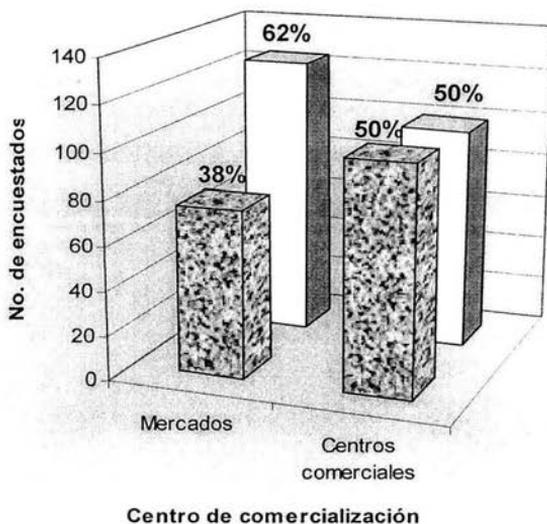
En lo que se refiere a la influencia del género en el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos, según la tabla 21, sí existe una diferencia significativa entre hombres y mujeres. Así pues, se observó a partir del estudio realizado que los hombres conocen más del tema que las mujeres; el 50 por ciento de los hombres entrevistados sí ha escuchado el término "alimentos transgénicos", mientras que sólo el 39 por ciento de las mujeres entrevistadas ha escuchado dicho término (Fig. 32). Ello puede deberse, a que muchas de las mujeres entrevistadas eran amas de casa, o bien, empleadas con poco acceso a información amplia y confiable. Aunque cabe mencionar que de los entrevistados que manifestaron un conocimiento profundo sobre el tema, una alta proporción fueron mujeres.



En este sentido, tal vez sería importante llevar a cabo un nuevo estudio. Según el estudio realizado por la agencia MUND Américas, el género no influye en el nivel de conocimiento sobre alimentos transgénicos, a diferencia de un estudio con consumidores en Suiza que mostró que el género sí influye en la percepción pública sobre alimentos transgénicos (Magnusson y Koivisto-Hursti, 2002).

Figura 31: Influencia del tipo de centro de comercialización en el conocimiento sobre alimentos transgénicos

Gráfico No. 12 Influencia del tipo de centro de comercialización en el conocimiento sobre alimentos transgénicos

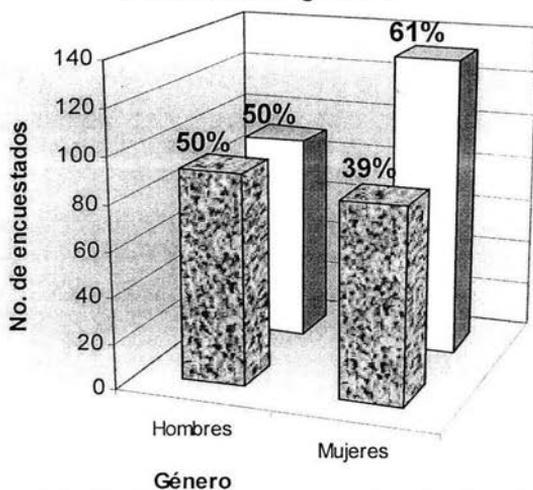


■ Sí conoce o ha escuchado el término □ No conoce o no ha escuchado el término



Figura 32: Influencia del género en el conocimiento sobre alimentos transgénicos

Gráfico No. 13 Influencia del género en el conocimiento sobre alimentos transgénicos



Si ha escuchado o conoce el término No ha escuchado o no conoce el término

VI. ANÁLISIS Y DISCUSIONES



Para comenzar el presente apartado es imprescindible hacer la siguiente reflexión:

"En el amanecer de un nuevo milenio procede preguntarse si la ciencia y tecnología están realmente contribuyendo a resolver los principales problemas del mundo contemporáneo, o si por el contrario estos últimos están rebasando las capacidades actuales de los científicos, los técnicos y sus instituciones. La pregunta es procedente en un mundo que durante las próximas décadas se volverá más complejo, más poblado, más injusto, más competitivo, más dominado por los intereses de las grandes corporaciones, más permeado por las culturas locales, regionales y nacionales y, sobre todo, de mayor riesgo, es decir, más peligroso y menos predecible".

Víctor M. Toledo

Indudablemente los alimentos transgénicos pueden considerarse como una de las aportaciones científicas y tecnológicas más importantes de los años recientes, no sólo porque surgen a partir de la Ingeniería Genética que es la herramienta más poderosa de la Biotecnología, sino porque prometen grandes beneficios para la humanidad pero también existen una serie de riesgos potenciales asociados a los mismos.

Los alimentos transgénicos surgen a partir de la siguiente premisa: "Es imprescindible que mejoremos la producción y distribución de los alimentos, si es que queremos alimentar y librar del hambre a la creciente población mundial, al mismo tiempo que reducimos los impactos ambientales y generamos empleos productivos en las regiones de bajos ingresos" (Royal Society of London, Academia de Ciencias de Brasil, Academia de Ciencias de China, Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Academia Mexicana de Ciencias, Academia Nacional de Ciencias de la India, U.S. National Academy of Sciences, 2000).

A fines de los años ochenta, una publicación de Monsanto indicaba que la Biotecnología revolucionaría la agricultura en el futuro con productos basados en los métodos propios de la naturaleza, haciendo que el sistema agrícola sea más amigable para el medio ambiente y más provechoso para el agricultor (OTA, 1992; citado en Altieri, 2003). Richard Oliver, sugirió que los OGMs representan la Segunda Revolución Verde, afirmando que se perfilan como "la alternativa que brinda la innovación tecnológica del siglo XXI al hambre mundial". Según Oliver, "...las semillas transgénicas, son descubrimientos indispensables y necesarios para alimentar al mundo, proteger el ambiente y reducir la pobreza en los países en desarrollo" (Delgado, 2003).



El dilema ético es que muchas de estas promesas no han podido ser hechas realidad. En forma comercial los OGMs no se han comportado en el campo como se prometió. En este sentido, la finalidad del presente apartado es analizar, a partir de la información recopilada, cuál ha sido la contribución de los alimentos transgénicos en la resolución del problema alimentario mundial, además de discutir otras alternativas que pudieran contribuir también a resolver tal problemática.

Es fundamental la participación del Ingeniero en Alimentos en esta área de discusión, no sólo con una actitud crítica, sino también con una actitud propositiva. Poder ofrecer alimentos con alto valor nutritivo, a bajo costo y con características idóneas para su conservación y consumo, son actividades del Ingeniero en Alimentos que inciden directamente en beneficio de la población y que están directamente relacionadas con el debate en torno a los alimentos transgénicos como una alternativa para lograr la seguridad alimentaria, sobre todo si se considera que, entre otras cosas, el Ingeniero en Alimentos está capacitado para:

- ✓ Desarrollar tecnología propia y específica para México, considerando su realidad.
- ✓ Evaluar económicamente los recursos naturales y humanos.
- ✓ Estudiar la comercialización, distribución y mercado de los productos alimenticios.
- ✓ Mejorar productos alimenticios.
- ✓ Realizar el control bioquímico de los productos alimenticios.

1. SITUACIÓN MUNDIAL EN TORNO A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

La Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial dice:

"Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana." (Organización Mundial de la Salud / Organización Mundial del Comercio, 2002).

En general, la seguridad alimentaria se considera a dos niveles:

La *seguridad alimentaria a nivel nacional* es la capacidad de un país para asegurar el *abastecimiento total* suficiente de alimentos para satisfacer las necesidades de nutrición de su población en todo momento, mediante la producción interna, las importaciones de alimentos y/o el uso temporal de



existencias nacionales de alimentos (Organización Mundial de la Salud / Organización Mundial del Comercio, 2002).

La *seguridad alimentaria a nivel de las familias* es la capacidad de una familia para asegurar un *acceso* fiable a alimentos suficientes para sus miembros en todo momento, mediante su producción propia (subsistencia), la compra en el mercado, el uso de sus propias existencias y/o el suministro público (Organización Mundial de la Salud / Organización Mundial del Comercio, 2002).

Pero ¿cuál es la situación en el mundo en torno a la seguridad alimentaria?

Para el año 2025, se espera que la población del mundo supere los 8.000 millones, a un ritmo de algo más de 800 millones cada década (Trigo *et al.*, 2002). Si se hace una simple proyección sólo basada en el aumento de población, la producción mundial de cereales debe aumentar de las 1 920 millones de toneladas necesarias en 1990 hasta unas 2 680 millones en 2025 para equiparar esa demanda (Dyson, 1999; citado en Trigo *et al.*, 2002). La proyección de la demanda de alimentos antes mencionada asume que se mantiene el consumo a los niveles de ingresos actuales, donde más de 1 000 millones de personas sobreviven con menos de \$1 por día (Banco Mundial, 1999; citado en Trigo *et al.*, 2002).

Los pobres representan más de 50 por ciento de la población, habiendo aumentado de 136 millones de personas en 1980 a 211 millones en 1999 (CEPAL 2001; citado en Trigo *et al.*, 2002). Demasiadas personas son muy pobres para comprar el alimento que está disponible o carecen de la tierra y recursos para cultivarlos ellos mismos (Altieri, 2003_b).

Así pues, el desafío en los próximos cincuenta años será no sólo alimentar a más gente, sino también hacerlo teniendo en cuenta que:

- ✦ La tasa de incremento de la producción de alimentos ha ido últimamente en retroceso (el aumento del rendimiento, que en la década de 1970 era de 3 por ciento anual, disminuyó en la de 1990 a cerca de 1 por ciento anual) (Conway y Toennissen, 1999; citado en Royal Society of London, Academia de Ciencias de Brasil, Academia de Ciencias de China, Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Academia Mexicana de Ciencias, Academia Nacional de Ciencias de la India, U.S. National Academy of Sciences, 2000). Aún se registran graves pérdidas agrícolas debido a factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (salinización y sequías).
- ✦ La tasa de crecimiento de la producción de cereales tanto en los países en vías de desarrollo como en los desarrollados está disminuyendo en comparación con las producciones registradas



durante los años setenta, en parte debido al escaso uso de insumos y a la caída de los precios de los cereales, pero también como resultado de que los potenciales de productividad de varios de los principales alimentos básicos están cerca de alcanzar su límite genético (Pinstrup- Andersen *et al.* 1999; citado en Trigo *et al.*, 2002).

♣ La combinación del crecimiento de la población con los cambios en la dieta y una mayor urbanización, aumentará la demanda de alimentos de origen animal. Se espera que la demanda de productos cárnicos y lácteos aumente en 2.8 por ciento y 3.3 por ciento al año, respectivamente. También se espera que las proyecciones de la demanda y consumo total de res, aves, cerdo y leche se dupliquen (en promedio), con un aumento correspondiente de las necesidades de alimentos en grano (Trigo *et al.*, 2002).

♣ Habrá menos tierra cultivable disponible, debido a la erosión, deforestación y creciente urbanización. Prácticamente se está arando toda la tierra adecuada del mundo. El uso de terrenos adicionales no rinde lo suficiente, y además en muchos casos habría que roturar territorios de alto valor ecológico que sustentan una biodiversidad de la que la humanidad podría sacar más provecho mediante usos alternativos y sostenibles.

♣ Serán menos los recursos disponibles, en particular los no renovables como el fósforo y el potasio (Iáñez, 2000), haciéndose necesarias las tecnologías para reducir al mínimo la extracción y proporcionar sostenibilidad a largo plazo.

♣ Habrá menos agua, y la calidad de la restante será menor conforme aumente la demanda. Las mismas prácticas agrícolas recientes hacen gran uso de agua. En 2025 podrían ser 3000 millones de personas las que carecieran de agua para usos esenciales, por lo que es iluso pensar que se puedan seguir ampliando indefinidamente los regadíos (Iáñez, 2000). Además, ya se está utilizando casi todo el terreno cultivable sometido a régimen de lluvias. La irrigación ha causado daños ambientales, principalmente por acumulación de sales tóxicas en terrenos mal drenados. Los futuros proyectos de irrigación serán cada vez más caros, hasta que sean económicamente inviables, incluso con financiación pública. Para 2025 casi 40 países (incluyendo India oriental, Norte de China y casi toda África) tendrán serios problemas de aprovisionamiento de agua, con el riesgo de que intenten cultivar terrenos marginales que serán dañados a corto plazo. Así pues, para 2025 habría que duplicar el rendimiento del uso del agua (Iáñez, 2000).

♣ La agricultura moderna introdujo el uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes que son muy costosos y pueden afectar la salud humana o dañar los ecosistemas. El abuso de abonos nitrogenados y plaguicidas hace que esta agua quede contaminada, con los consiguientes perjuicios ambientales y sanitarios. Entre 1950 y 1998 el uso de fertilizantes se multiplicó por



nueve. En los países avanzados el uso de fertilizantes se ha estancado, porque cantidades adicionales no redundan en mayor productividad. En África (donde apenas se ha aprovechado), América Latina e India aún caben aumentos locales del empleo de abonos (Iáñez, 2000).

♣ Según se estima, en los países en vías de desarrollo, aproximadamente 650 millones de las personas más pobres del mundo viven en regiones rurales donde la producción local de alimentos es la principal actividad económica (Royal Society of London, Academia de Ciencias de Brasil, Academia de Ciencias de China, Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Academia Mexicana de Ciencias, Academia Nacional de Ciencias de la India, U.S. National Academy of Sciences, 2000). Sin una agricultura productiva, esta gente no tendrá, ni empleo, ni los recursos necesarios para tener una vida mejor. El trabajo de la tierra, en particular de las parcelas pequeñas, es el motor del progreso de las comunidades rurales, sobre todo en los países menos desarrollados. Tan sólo en América Latina, más de 2.5 millones de hectáreas se cultivan con métodos agrícolas tradicionales, en forma de parcelas en desnivel, policultivos y sistemas agroforestales (Altieri, 2003_a).

Es importante considerar que el hambre no sólo se debe a una brecha entre la producción de alimentos y la densidad de la población humana o tasa de crecimiento.

No hay relación entre la ocurrencia frecuente de hambre en un país dado y su población. Para cada nación densamente poblada y hambrienta como Bangladesh o Haití, existe una nación escasamente poblada y hambrienta como Brasil e Indonesia (Altieri_b, 2000). El mundo produce hoy más alimento por habitante que nunca antes. Existe suficiente para suministrar 4.3 libras por persona cada día: 2.5 libras de grano, frijoles y nueces, aproximadamente 1 libra de carne, leche y huevos y otra libra de frutas y vegetales (Altieri_b, 2000).



2. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS COMERCIALIZADOS HASTA EL MOMENTO

Entre los beneficios específicos que prometieron los alimentos transgénicos podrían incluirse los siguientes (Banco Asiático de Desarrollo, 2000; citado en Organización Mundial de la Salud / Organización Mundial del Comercio, 2002):

- ✓ Aumento de los rendimientos, es decir, mayor producción de alimentos sin necesidad de aumentar el área de tierra cultivada, y por tanto, reducir la presión de expansión de las áreas de cultivo sobre áreas forestales y marginales.
- ✓ A corto plazo, menos utilización de productos químicos (plaguicidas y fertilizantes).
- ✓ Mejora de la calidad de los cultivos y de su valor nutritivo, incluyendo el enriquecimiento del contenido vitamínico y de micronutrientes de los cereales, lo cual beneficia a los consumidores con dietas pobres y limitadas y quienes no pueden permitirse comprar suplementos vitamínicos y micronutrientes.
- ✓ Aumento de la resistencia a enfermedades y plagas y mejora de los esfuerzos en el manejo integrado de plagas, con la consiguiente reducción del uso de pesticidas tóxicos.
- ✓ Mayor tolerancia de las variedades existentes con alto rendimiento a sequías, inundaciones, salinidad, metales pesados, y otros riesgos bióticos y abióticos, que pueden estabilizar y mejorar el rendimiento de los productos cultivados en zonas húmedas.
- ✓ Aumento de la productividad y calidad de los animales de granja y reducción del impacto ambiental por la mayor industrialización de los productos animales.
- ✓ Mayor desarrollo de vacunas y diagnóstico de enfermedades para la ganadería y la acuicultura.
- ✓ Uso de sustancias no comestibles de los cultivos alimenticios para elaborar productos medicinales, alcohol de combustión y carburante industrial.

Ahora bien, ¿en qué medida se han hecho realidad los beneficios prometidos?; ¿cuál es el impacto real de los alimentos transgénicos en la actualidad? A continuación se analizan aspectos fundamentales relacionados con el impacto de los alimentos transgénicos:



Progresión de la superficie de cultivos transgénicos en el mundo

La progresión de la superficie de cultivos transgénicos en el mundo ha sido espectacular: hemos pasado de menos de 200 000 hectáreas en 1995 a unos 67.7 millones de hectáreas en 2003 (James, 2003). Cada vez más países incorporan esta tecnología en sus sistemas agrícolas, Brasil y Sudáfrica se definieron como importantes países productores de transgénicos durante el 2003, formando parte del grupo integrado por Estados Unidos, Canadá, Argentina y China (James, 2003).

ISAAA, el Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones de la Agro-biotecnología, predice que en los próximos cinco años 10 millones de productores en 25 o más países cultivarán 100 millones de hectáreas de variedades transgénicas. Se espera que el valor del mercado mundial de cultivos transgénicos pase de los 4 500 millones de USD del año 2003 a 5 000 millones de USD en el 2005 (James, 2003).

Sin embargo, se estima que entre 1 900 y 2 200 millones de personas aún se encuentran al margen de la influencia, directa o indirecta, de la tecnología de la agricultura moderna (Pretty, 1995; citado en Altieri, 2003_a). A pesar de la creciente industrialización de la agricultura, la mayoría de los agricultores son campesinos o pequeños productores que todavía cultivan en los valles y laderas de las zonas rurales (en su mayor parte campos semiáridos o ubicados en pendientes ecológicamente vulnerables) con métodos tradicionales y de subsistencia. Sus sistemas agrícolas son de pequeña escala, complejos y diversos, y presentan rendimientos hasta cierto punto estables con un mínimo de insumos externos (Beets, 1982; citado en Altieri, 2003_a). En América Latina, a fines de la década de los ochenta, se registraban alrededor de 16 millones de unidades de producción campesina en una extensión de casi 60.5 millones de hectáreas, o sea, 34.5 por ciento del total de la tierra cultivada (De Grandi, 1996; citado en Altieri, 2003_a). La población campesina incluye 75 millones de personas que representan casi dos terceras partes de la población rural total de América Latina (Ortega, 1986; citado en Altieri, 2003_a). Aun cuando el tamaño promedio de estas unidades agrícolas es de aproximadamente 1.8 hectáreas, su contribución al abasto general de alimentos en la región es importante (Altieri, 2003_a).

Aumento de rendimientos

Recientemente, la Soil Association, asociación inglesa dedicada a la defensa de una agricultura respetuosa con el medio ambiente, ha producido un informe en el cual analiza los resultados de 6 años de cultivo de OGMs en Estados Unidos. Concluye que "la promesa de mayores rendimientos no



se ha cumplido para ningún cultivo genéticamente modificado excepto un pequeño incremento para el maíz Bt" (Soil Association, 2002).

Existe evidencia clara y consistente en los Estados Unidos de que desde su introducción en 1996, la mayoría de los cultivos de soya RoundupReady producen de 5 a 10 por ciento menos bushels por hectárea/acre en contraste con otras variedades idénticas cultivadas bajo condiciones de campo similares (Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo, 2003).

Por otro lado, se pueden considerar las estadísticas de la FAO sobre producción y rendimiento de cultivos básicos como el maíz y la soya.

En la tabla 24 que se muestra a continuación se reportan cifras estadísticas sobre producción y rendimiento de la soya y el maíz en Estados Unidos, Canadá y Argentina, en 1990 cuando aún no se sembraban estos cultivos a escala comercial y en el 2003 después de algunos años de sembrar este tipo de cultivos. Lo que puede observarse en dicha tabla es un aumento notable en la producción de soya en Argentina aunque el aumento en el rendimiento ha sido mínimo, sobre todo si se considera que las cifras estadísticas manejadas consideran tanto cultivos transgénicos como no transgénicos.

Tabla 24: Producción y rendimiento de soya y maíz en Estados Unidos y Argentina, 1990 y 2003

| SOYA | | | | |
|----------------|----------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| <i>País</i> | <i>Producción (Mt)</i> | | <i>Rendimiento (Hg/Ha)</i> | |
| | <i>1990</i> | <i>2003</i> | <i>1990</i> | <i>2003</i> |
| Argentina | 10 700 000 | 34 800 000 | 21 566 | 28 525 |
| Estados Unidos | 52 416 000 | 65 795 300 | 22 920 | 22 481 |
| MAÍZ | | | | |
| <i>País</i> | <i>Producción (Mt)</i> | | <i>Rendimiento (Hg/Ha)</i> | |
| | <i>1990</i> | <i>2003</i> | <i>1990</i> | <i>2003</i> |
| Estados Unidos | 201 532 000 | 256 904 992 | 74 380 | 89 237 |
| Canadá | 7 066 000 | 9 587 300 | 68 602 | 78 193 |

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2004)



Cabe mencionar que tal aumento en el rendimiento global sí podría deberse a la introducción de variedades transgénicas de soya. En Estados Unidos, por el contrario, también se registra un aumento importante en la producción de soya, sin embargo, hubo una ligera disminución en el rendimiento, lo que permite concluir que no ha habido un efecto importante de la soya transgénica en el rendimiento global.

En cuanto al maíz en Estados Unidos, se observa un aumento notable tanto en la producción como en el rendimiento. Tal aumento en el rendimiento global sí podría deberse a la introducción de variedades transgénicas de maíz. Lo mismo ocurre en el caso de Canadá.

Menos utilización de productos químicos

El algodón *Bt* es el único caso en el cual es evidente el efecto de reducción de los rociamientos. Los analistas presentan un panorama variado de los resultados de la siembra de soyas RoundupReady. El maíz *Bt* y el algodón tolerante a los herbicidas no han provocado disminuciones claras del rociamiento con sustancias químicas (Byrne *et al.*, 2003).

Un informe de mayo de 2002 es el último documento oficial del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) que presenta datos comparativos sobre el uso de herbicidas (Fernández-Cornejo y Mc Bride, 2002; citado en Byrne *et al.*, 2003). Basados en datos de 1997 y 1998, los autores estimaron que apenas menos del 6 por ciento más de herbicida fue aplicado sobre variedades RoundupReady comparadas con la soya convencional (medidas como libras de ingrediente activo aplicadas por acre).

En Argentina, el uso de herbicidas en la soya RoundupReady es más del doble que en las variedades convencionales, a pesar de que los agricultores al plantar las variedades convencionales usan casi una pasada más de labranza comparado con los agricultores que cultivan las variedades RoundupReady (Gaim y Traxler, 2002; citado en Byrne *et al.*, 2003).

Las variedades de maíz, algodón y canola con tolerancia a los herbicidas han reducido el número de ingredientes activos del herbicida aplicados por acre en los Estados Unidos, mientras que aumentaron modestamente las libras de herbicidas aplicadas por acre; la soya RoundupReady requiere del 5 al 10 por ciento más ingrediente activo del herbicida por acre (Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo, 2003).

Los efectos del maíz y el algodón *Bt* sobre el uso de insecticidas ha variado a través de los Estados Unidos. El algodón *Bt* ha reducido notablemente el uso de insecticidas en varios estados. La cantidad de aplicaciones de insecticidas de organofosfato y carbamato ha bajado desde varias a



menos de una por acre en varios estados. Por otro lado, un informe del USDA sobre la reducción del empleo de plaguicidas asociada con los cultivos genéticamente modificados indica que varios métodos de análisis revelan una declinación del empleo de plaguicidas, atribuible al algodón *Bt* (Byrne *et al.*, 2003). El maíz *Bt*, sin embargo, ha tenido poco si es que algún impacto sobre el uso de insecticidas del maíz (Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo, 2003).

Producción de alimentos más nutritivos

Hasta la fecha no se han comercializado alimentos transgénicos que sean mejores que los convencionales en cuanto a su composición nutricional. La mayoría de las cosechas transgénicas han sido diseñadas para tolerancia a herbicidas específicos, para producir resistencia a insectos o para prolongar su vida comercial.

Impactos de las prácticas actuales en el medio ambiente y en la salud de los consumidores

Hasta el momento, no existe ningún caso documentado de daños a la salud humana a consecuencia de consumir alimentos transgénicos, aunque cabe mencionar que son muy pocos los estudios formales que se han hecho al respecto.

En cuanto a los impactos en el medio ambiente, no existe ningún caso documentado de desastre ambiental a consecuencia de la liberación al medio ambiente de OGMs, sin embargo, se han observado ciertos fenómenos en Estados Unidos, el principal productor de cultivos transgénicos:

- ✓ En Estados Unidos han surgido interrogantes sobre el rendimiento fisiológico y la respuesta de los cultivos de soya RoundupReady a varias fuentes de tensión y condiciones de crecimiento. Los estudios de Monsanto han mostrado menor depresión de niveles de aminoácidos aromáticos en la soya cosechada, incluyendo los componentes reguladores de la planta clave fenilalanina y tripsina (Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo, 2003). Aún los niveles modestamente deprimidos de las proteínas reguladoras claves al final de la temporada pueden ser indicadores importantes de problemas anteriores, ya que los niveles pueden haber sido deprimidos significativamente más temprano en la estación, pero luego recuperados.



- ✓ La adaptación, tanto en la forma de cambios en la composición de las especies de malezas e insectos o en la aparición de resistencia genética, producirá un impacto en la eficacia de los cultivos genéticamente modificados como una función del grado de presión de selección dirigida contra las poblaciones de plagas. Mientras que la presión de selección con inducción de glifosato contra las poblaciones de malezas de la soya en los Estados Unidos ha sido alta desde 1998, en la Argentina ha sido mayor. En el año 2000, las aplicaciones por hectárea de glifosato en la soya RoundupReady en Argentina fue de alrededor de 2.76 kilogramos, comparado con alrededor de 1 kilogramo en los Estados Unidos (Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo, 2003).
- ✓ La composición de las especies de malezas que enfrentan los agricultores ya está cambiando claramente tanto en la Argentina como en los Estados Unidos (Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo, 2003). A las malezas que germinan durante períodos largos de tiempo les resulta más fácil hacerse un lugar en los campos de soya, como lo hacen las malezas que poseen una potencialidad para crecer altas y con tallos gruesos. Sin embargo, los problemas observados en los Estados Unidos y también probablemente en Argentina pueden ser manejables si los agricultores adoptan una rutina, prácticas comprobadas y estrategias. Dos cambios claves serán esenciales para mantener efectiva la tecnología de la soya RoundupReady.
- ✓ Los cambios en la población de microbios del suelo llevará a cambios complejos y altamente variables en las interacciones entre los organismos del suelo, los sistemas de producción, las plagas y las plantas. En estos términos, la investigación en los Estados Unidos ha encontrado cambios en las comunidades de microbios del suelo y en la salud de las plantas, provocados por la aplicación del herbicida de glifosato en cultivos Roundup Ready. Los científicos han confirmado que los niveles de *Fusarium* están aumentando en algunos campos plantados durante muchos años con soya RoundupReady (Kremer et al., 2000; citado en Byrne et al., 2003). El impacto contrario del sistema de soya RoundupReady sobre el desarrollo de la raíz de la soya y la fijación del nitrógeno ha sido documentado en dos estudios de ligera revisión (King et al., 2001; Hoagland et al., 1999; citado en Byrne et al., 2003).
- ✓ "Contaminación genética": Una publicación en *Nature* reporta la presencia de transgenes en maíz criollo en Puebla y Oaxaca, a pesar de que en México, centro de origen y diversidad genética del maíz, existe una moratoria a la siembra de maíz transgénico. Una de las posibles causas puede ser el flujo génico. Tras casi tres años de estudios, la CIBIOGEM informó la detección de diferentes eventos en una misma planta de maíz, lo que demuestra que ha habido flujo génico en las milpas.



Ahora bien, la adopción de nuevas tecnologías ha tenido algunos efectos convenientes desde el punto de vista del medio ambiente. Por un lado, hay una dramática reducción en la pérdida de suelo cuando la tierra altamente erosionable es sembrada usando sistemas sin labranza, lo que lleva a diversas inconfundibles ventajas ambientales. Una tecnología RoundupReady le brinda a los agricultores nuevas opciones para el control de malezas en sistemas sin labranza.

La potencialidad de los sistemas de soja RoundupReady sin labranza para reducir la erosión no se ha realizado mayormente en los Estados Unidos porque la mayor parte de la soja sin labranza es plantada en suelos relativamente llanos y no erosivos (Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo, 2003).

También puede ser beneficioso, desde el punto de vista ambiental, el reemplazo de herbicidas más tóxicos por glifosato. Una mayor ventaja de la tecnología de la soja RoundupReady es que le permite a los agricultores reducir el uso de herbicidas persistentes altamente activos de baja dosis de las familias de la sulfonilurea y la imidazolinona. La mayor parte de los herbicidas de estas familias químicas requieren un manejo cuidadoso para evitar el daño a las plantas de soja y la producción reducida.

Un estudio de caso: El algodón Bt en México

Desde 1998 el programa algodónero de Alianza para el Campo apoya explícitamente la compra de la semilla transgénica de algodón en nueve estados productores del norte del país. Sonora y Tamaulipas han sido los principales (De Ita, 2002_a).

El beneficio ambiental obtenido hasta ahora tiene valores ambientales incontestables. El cultivo del algodón ha sido el mayor consumidor de insecticidas en el mundo y el uso de estas tecnologías reduce sustancialmente el número de aspersiones. Por primera vez en la historia de la región Lagunera el cultivo del algodón consume menos insecticidas que el maíz y las hortalizas (Larson, 2002).

En el Norte de Tamaulipas, los beneficios que pudiera representar el uso de algodón con resistencia a larvas de lepidópteros son mínimos, ya que la plaga de importancia económica en dicha zona es el picudo del algodónero (*Anthonomus grandis*), que no es susceptible a la toxina de *Bt*. Las plagas en esta zona se controlan con aplicaciones de insecticida y con trampeo para las migraciones de insectos que vienen del Sur de la región (Gálvez y Díaz, 2000). En el Sur del estado la siembra de



algodón transgénico ha logrado disminuir de 22 a 8 las aplicaciones de insecticida que se requieren con algodón convencional (Gálvez y Díaz, 2000). Las aplicaciones son necesarias porque el gen expresado, no siendo eficiente contra el picudo, ha logrado desplazar solamente al complejo bellotero (*Heliothis virescens* y *H. zea* entre los principales). Su nicho ecológico ahora ha sido ocupado por una plaga secundaria, pero que es atraída fuera del algodonnero con otros cultivos sembrados a su alrededor. Para lograr rendimiento comercial, el gobierno federal ha impulsado la siembra de algodón transgénico dentro de sus programas de manejo integrado de plagas, en donde además del uso de la tecnología transgénica se aplica el uso de feromonas, agentes de control biológico y control legal (manejo de fechas de siembra), además del control químico mencionado.

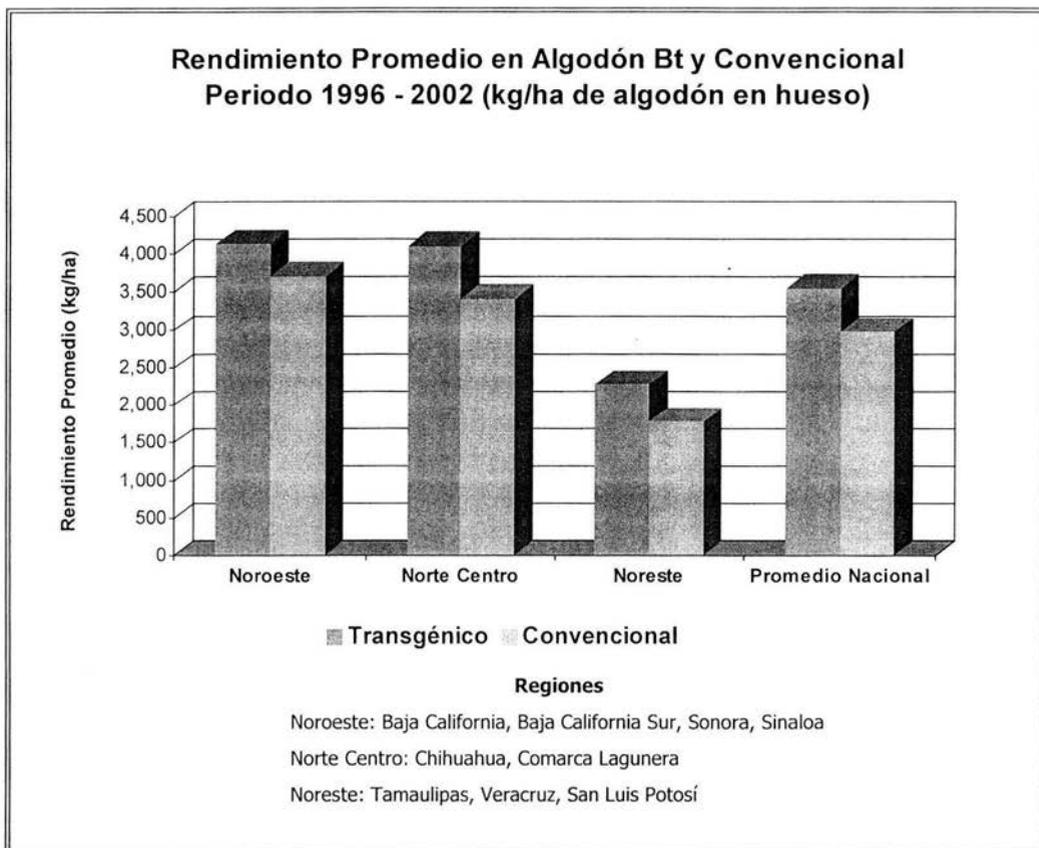
Los agricultores locales estiman que esta dinámica será útil sólo de tres a cinco años, cuando el transgénico pierda eficacia por la selección de resistencia en las plagas. Para cuando esto suceda se espera contar con nuevas variedades comerciales transgénicas apropiadas: algodón de 2ª o 3ª generación resistente a insectos. Pero también se esperaría contar con otros agentes de control biológico como *Catolaccus grandis*, parasitoide del picudo del algodonnero dentro del esquema de manejo integrado de plagas (Gálvez y Díaz, 2000).

Este programa ha generado valiosas experiencias tanto para los reguladores, como para los profesionales encargados en el manejo del algodonnero, que se espera puedan ser reproducidas en otras regiones del país que siembran transgénicos. Es importante reconocer que se requiere del criterio y la experiencia de los agricultores y autoridades locales para realizar este monitoreo y el seguimiento del desarrollo posible de plagas, ya que son ellos los que conocen a fondo la complejidad de su región, pero deben contar no sólo con el entrenamiento técnico correcto, sino con los recursos financieros e infraestructura para realizar el monitoreo. Las regiones del país que son centros de diversidad de algodón en el Sur de México, en Chiapas y Campeche, no han recibido ninguna autorización para liberación.

Según datos de AgroBIO México, los rendimientos de algodón también han aumentado, tal y como se muestra en la siguiente figura. El aumento en el rendimiento promedio de 1998 al 2002 ha sido del 16 por ciento, sin embargo, se ha observado que el rendimiento ha disminuido en los últimos años, de 17.41 por ciento en el 2000 al 7 por ciento en el 2002.



Figura 33: Rendimiento Promedio en Algodón Bt y Convencional (1996-2002)



Fuente: AgroBIO México, 2003

Los resultados obtenidos hasta el momento con la siembra de algodón transgénico en el norte del país parecieran ser bastante optimistas, sin embargo, habría que analizar también las siguientes cuestiones: El cultivo del algodón transgénico representa costos de producción más altos; la semilla es 25 por ciento más cara que la no transgénica y el pago de la licencia es de \$80 USD por hectárea. El gobierno mexicano subsidia con 45 por ciento del valor de estos insumos, en 40 por ciento de la superficie sembrada con algodón transgénico; tal subsidio permite que los costos de la semilla



transgénica más la licencia se reduzcan, pero representan más del doble del costo de la semilla convencional, que no paga licencia ni tiene apoyos estatales (De Ita, 2002_a).

Las expectativas del gobierno se han quedado muy cortas contra la realidad: El cultivo del algodón en México no es rentable frente a la competencia del libre mercado. Mientras que la industria textil importa 63 por ciento del consumo nacional de algodón y la industria aceitera 40 por ciento de su consumo, la superficie total de algodón ha caído en 64 por ciento durante los años de operación del programa (1998-2001), presionada por la caída de los precios internacionales en 25 por ciento a partir de 1997 (De Ita, 2002_a). El mismo destino ha tenido la superficie subsidiada por Alianza para el Campo con algodón transgénico, que se redujo en 66 por ciento entre 1998 y 2000, al pasar de 21 mil 130 hectáreas a 7 mil 280 (De Ita, 2002_a). Para el año 2000, los productores en Tamaulipas decidieron privilegiar con subsidios las labores culturales, antes que el uso de semillas transgénicas, que no les reflejaron beneficios (De Ita, 2002_a).

3. PROPUESTA PARA MÉXICO EN TORNO A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

Como ya se ha analizado, el problema alimentario mundial es muy complejo y lo es aún más en países en desarrollo como México. Una tecnología no va a solucionar el problema alimentario, por muy poderosa que esta sea; ello implicaría simplificar la realidad. Simplificar la realidad, es decir, negar su complejidad, significa no sólo abandonar un camino que conduce al exterminio de la especie humana, sino negar la validez de la experiencia históricamente acumulada por tradiciones milenarias.

Así pues, no es de extrañar que la introducción al mercado de los alimentos transgénicos no haya dado los resultados que tanto se prometían, como anteriormente ya se ha analizado.

Una propuesta para México en torno a la seguridad a la seguridad alimentaria debe contemplar diversas alternativas (no sólo una), pero siempre considerando la realidad del país. En el cuadro siguiente, se especifican diversos factores relacionados con el problema alimentario en México y se discuten distintas alternativas. Las posibilidades de desarrollo de la Biotecnología en el país como una de las alternativas para lograr la seguridad alimentaria se discuten también. La propuesta se hace desde el punto de vista multidisciplinario, considerando la información bibliográfica revisada así como las opiniones de los especialistas involucrados en el debate público sobre alimentos transgénicos.



Tabla 25: Propuesta alternativa para México en torno a la seguridad alimentaria y los alimentos transgénicos

| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|---|---|--|
| <p>Producción de alimentos básicos y sistemas agrícolas</p> | <p>Este período histórico de los últimos quince años en el que surgen los cultivos transgénicos y se comercializan, es el mismo período en el que la productividad en la agricultura de México, tanto la modernizada (la que surge en los 60's con la Revolución Verde) como la menos tecnologizada (la agricultura tradicional, la que se basa en usar la semilla que seleccionó el campesino, la agricultura temporalera, etc.), cayó dramáticamente. Esto ha provocado que en México, que colinda con Estados Unidos (el país con la agricultura más poderosa del mundo desde hace más de 100 años) aumenten las importaciones, de tal modo que se importan más del 50 por ciento de los alimentos que consumimos, entre ellos el maíz.</p> <p>Ahora bien, la mayoría de los agricultores son campesinos o pequeños productores que todavía cultivan en los valles y laderas de las zonas rurales (en su mayor parte ubicados en pendientes ecológicamente vulnerables en el centro y sureste del país) con métodos tradicionales y de subsistencia. Sus sistemas agrícolas son de pequeña escala, complejos y diversos,</p> | <p>La alternativa en torno a los sistemas agrícolas y la producción de alimentos en México debe tener como fin primordial la soberanía alimentaria.</p> <p>Lo que se requiere en primera instancia es el apoyo estatal para el fomento a la agricultura. Los pequeños productores necesitan el apoyo mínimo de crédito, financiamiento y asistencia técnica, así como el apoyo a la comercialización de sus productos a través de la existencia de precios de garantía que ya no hay. Sin el fomento a la agricultura en general, los cultivos transgénicos no pueden considerarse como una alternativa de producción de alimentos para los miles de minifundistas temporaleros en el país.</p> <p>Los cultivos transgénicos sí pueden ser una alternativa de producción, siempre y cuando se cuente con la infraestructura requerida. El Control Integrado de Plagas puede resultar una muy buena opción en este sentido.</p> <p>Por otro lado, necesitamos una alimentación sana proveniente de sistemas agropecuarios ecológicamente adecuados y aquí también entran en juego muchos profesionistas en el campo del diseño tecnológico.</p> <p>Dado el sistema agrícola mexicano, la mejor alternativa para lograr la soberanía alimentaria</p> |



| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|--|--|--|
| | <p>y presentan rendimientos hasta cierto punto estables con un mínimo de insumos externos. Los pequeños productores no tienen irrigación ni mecanización de la agricultura, tampoco usan agroquímicos. Existe un porcentaje mínimo de grandes productores ubicados principalmente en el norte del país.</p> | <p>son las prácticas agroecológicas (agricultura orgánica) y el uso eficiente de la energía en pequeñas unidades de producción. Tras tres décadas de investigación agroecológica y etnoecológica, existe ya un respetable repertorio de ejemplos mostrando como el minilatifundio familiar (campesino o indígena) resulta mucho más eficiente desde el punto de vista del uso y conservación de los recursos naturales.</p> <p>Prácticas como el berbecho y rotación de cultivos, el uso de abonos verdes en la milpa como cultivos de cobertura, el uso de composta para el aumento de la fertilidad de los suelos, entre otras, son prácticas agroecológicas que pueden resultar de gran utilidad.</p> |
| <p>Biodiversidad y diversidad cultural</p> | <p>A la escala planetaria, la diversidad cultural de la especie humana se encuentra estrechamente asociada con las principales concentraciones de biodiversidad existentes. México es una de las naciones consideradas como megadiversas y es también uno de los nueve centros principales de diversidad cultural (grupos de indígenas, lenguas endémicas, etc.)</p> <p>México es centro y origen de diversidad genética de uno de los cereales de mayor importancia en el mundo: el maíz.</p> | <p>Es imprescindible proteger la biodiversidad del país y conservar nuestro hábitat. La biodiversidad y las prácticas de los pueblos indígenas han determinado en gran medida la variedad de alimentos disponibles actualmente. Así pues, la pérdida de la biodiversidad y diversidad cultural puede tener consecuencias desastrosas.</p> <p>Es elemental la conservación de la biodiversidad, y en este sentido, el principio precautorio debe ser la premisa para un país megadiverso como México. Aún quedan muchas dudas sobre el impacto ambiental de</p> |



| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|---|--|--|
| | <p>Ahora bien, la subsistencia de los pueblos indígenas en el país está basada más en intercambios ecológicos (con la naturaleza) que en intercambios económicos (con el mercado). Están por lo tanto forzados a adoptar mecanismos de supervivencia que garanticen un flujo ininterrumpido de bienes, materiales y energía de los ecosistemas.</p> | <p>los alimentos transgénicos, por lo tanto, no es viable la liberación al medio ambiente de OGMs de los cuales México es centro de origen y diversidad genética. Al respecto, sería importante mantener la moratoria a la siembra experimental de maíz transgénico.</p> <p>Aquellas zonas consideradas como áreas naturales protegidas tampoco deberán exponerse a los efectos impredecibles de la liberación de OGMs al medio ambiente.</p> <p>La creación de bancos de germoplasma y el rescate de cultivos tradicionales son prácticas prioritarias que debieran anteponerse al uso de híbridos o transgénicos.</p> |
| Producción y comercialización de productos transgénicos | <p>México no es productor de cultivos transgénicos, únicamente se tiene el cultivo de algodón transgénico a nivel precomercial, aunque se llevan a cabo numerosos ensayos experimentales de diversos cultivos.</p> <p>Por otro lado, no existe una estrategia nacional para el desarrollo de cultivos transgénicos que respondan a problemáticas específicas del país en torno a la producción agrícola.</p> <p>Sin embargo, México importa una gran variedad de productos transgénicos, entre ellos el maíz, que se utilizan principalmente como materias primas para la elaboración de alimentos procesados.</p> | <p>Para que un país como México se convierta en un productor importante de cultivos transgénicos requiere modificar por completo el sistema agrícola y las políticas estatales respecto al campo mexicano. La producción de cultivos transgénicos será rentable en la medida que contribuya a la resolución de problemáticas nacionales.</p> <p>Sin embargo, sería importante que antes de impulsar políticas para la siembra de nuevos cultivos transgénicos, se establezca una moratoria y se lleven a cabo estudios científicos sobre sus riesgos potenciales.</p> <p>Ahora bien, respecto a la comercialización de productos transgénicos, sería importante exigir la identificación de los cargamentos de</p> |



| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|--|--|--|
| | | importación que puedan contener OGMs, para tomar las medidas de Bioseguridad necesarias. |
| Consumo de alimentos transgénicos y etiquetado | <p>La mayor parte de los alimentos procesados en el maíz contienen OGMs, por lo que el consumo de alimentos transgénicos es evidente. Sin embargo, cabe mencionar que los alimentos transgénicos no se etiquetan como tales y generalmente los consumidores no saben que los están consumiendo (según el estudio realizado en el presente trabajo, casi la mitad de la población admite no saber si ha consumido alimentos transgénicos). Sin embargo, la mayor parte de los consumidores prefiere que este tipo de alimentos sean etiquetados como tales (según el estudio realizado el 98 por ciento de la población está a favor del etiquetado de los alimentos transgénicos).</p> | <p>Es un derecho del consumidor elegir los alimentos que consume. Así pues, el etiquetado de los alimentos transgénicos como tal es fundamental. Por supuesto que la información en la etiqueta debe ser clara, verídica y suficiente; no debe generar confusión en el consumidor.</p> <p>En este sentido, es importante un ejercicio de divulgación sobre los alimentos transgénicos, sus beneficios y riesgos asociados, de tal modo que el consumidor pueda tener el criterio para tomar una decisión en torno al consumo de alimentos transgénicos.</p> <p>El etiquetado de alimentos transgénicos requerirá el establecimiento formal de un laboratorio público para la detección de OGMs en alimentos a partir de ensayos validados.</p> |
| Impactos en la salud y en el medio ambiente | <p>En nuestro país no existen trabajos de investigación sobre los efectos de los alimentos transgénicos en el medio ambiente o en la salud humana. Tampoco se tiene noticia de algún caso documentado sobre daños a la salud.</p> <p>En cuanto al impacto ambiental, se tiene noticia sobre la presencia de transgenes en maíz criollo en Puebla y Oaxaca, lo que</p> | <p>Es importante establecer grupos de investigación de instituciones independientes que realicen estudios científicos sobre los riesgos potenciales asociados a los alimentos transgénicos. La valoración de la seguridad de estos productos deberá ser caso por caso.</p> <p>Es necesario que las empresas biotecnológicas que promueven este tipo de productos financien estudios independientes sobre la</p> |



| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|--|--|--|
| | <p>ha despertado gran incertidumbre sobre las posibles consecuencias a largo plazo.</p> | <p>seguridad de los productos que desean liberar al medio ambiente.</p> <p>Sería importante reducir los riesgos potenciales en la salud humana, por lo que una alternativa es dejar el uso de genes marcadores de resistencia a antibióticos.</p> <p>Respecto al posible impacto ambiental, México debe establecer programas de investigación al respecto, principalmente estudios de flujo génico por las consecuencias que puede generar este fenómeno en un país megadiverso como México.</p> <p>Es imprescindible monitorear constantemente los campos en los que se detectó la presencia de transgenes en maíz criollo.</p> |
| <p>Percepción pública y nivel de información</p> | <p>El debate público en México se ha dado principalmente entre algunos miembros del sector académico, ONGs, organizaciones gubernamentales y representantes del sector privado. No se ha logrado ningún consenso, en gran medida debido a que la discusión se ha politizado demasiado, además de que existen diversos intereses involucrados.</p> <p>El actor que falta en el proceso de discusión sobre alimentos transgénicos en México es el propio consumidor, que si bien es cierto en la mayor parte de los casos no es consciente del gran potencial de impacto que significan estas nuevas</p> | <p>Es necesario lograr un consenso importante en la sociedad mexicana; sólo así será posible adoptar una postura definida en torno a la Biotecnología y los alimentos transgénicos como una opción para lograr la seguridad alimentaria. Ello requiere considerar cada una de las posturas que representan los diferentes sectores de la sociedad.</p> <p>Ahora bien, para esto es necesario que la sociedad cuente con la información necesaria que le permita obtener conclusiones, adoptar una postura definida y tomar decisiones propias. En este sentido, resultan muy importantes los trabajos de divulgación de la ciencia. Información clara, objetiva y verídica</p> |



| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|--------------------------------|---|---|
| | <p>tecnologías, no muestra confianza en éstas (según el estudio realizado en el presente trabajo, el 70 por ciento de la población que reconoce haber escuchado el término opina que los alimentos transgénicos puede ser riesgosos para la salud o que aún no se ha investigado lo suficiente sobre su inocuidad). El principal medio de información de los consumidores es la televisión que pocas veces proporciona información clara, objetiva y confiable.</p> | <p>debe llegar a los consumidores y deben establecerse los mecanismos necesarios para lograrlo. El sector académico puede desempeñar una importante función en este sentido: Generalmente la sociedad considera confiable la información divulgada por este sector, por lo tanto, es sumamente importante el trabajo multidisciplinario entre los miembros del sector académico, de tal forma que la información brindada a la sociedad sea lo más objetiva posible.</p> |
| Capacidad técnica y científica | <p>A pesar de que existe personal muy capaz en los centros de investigación más importantes del país, no se tienen ni las estrategias ni las herramientas requeridas para desarrollar ciencia y tecnología nacional, no sólo en el área de la Biotecnología Moderna, sino en muchas otras áreas. Puede existir mucha investigación científica, pero pocas veces se concreta en la realidad.</p> <p>Por otro lado, la ciencia y tecnología en el país son altamente dependientes. Muchos de los proyectos desarrollados en México en torno a la Biotecnología Moderna son financiados por las mismas empresas multinacionales, o bien, las herramientas requeridas para el desarrollo de estas tecnologías está patentadas por</p> | <p>La ciencia sobre cuyos fundamentos y principios se construyó la civilización industrial contemporánea es hoy necesaria pero no suficiente. El objetivo primordial de la ciencia en un país como México no debiera ser el demostrar que se puede hacer ciencia como en el primer mundo. Es necesario desarrollar una nueva ciencia y las tecnologías que respondan a las necesidades específicas de México. Para ello, es sumamente importante identificar las problemáticas nacionales que requieren de una pronta solución y el establecimiento de una estrategia nacional.</p> <p>La vinculación ciencia-sociedad debe ser la premisa.</p> <p>Ahora bien, considerando que actualmente se siembran cultivos transgénicos con fines</p> |



| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|------------------------------|--|--|
| | <p>naciones extranjeras. Todo esto limita la capacidad técnica y científica del país.</p> <p>Con respecto a la capacidad para la siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola, es importante mencionar que ello demanda tener una infraestructura para la producción que sólo las grandes corporaciones agroindustriales tienen, mientras que la mayoría de los agricultores y campesinos no poseen los insumos y los medios de producción que se requieren para estas tecnologías modernas.</p> | <p>experimentales en el país y que tal vez en un futuro se siembren para su comercialización, es muy importante establecer una política para creación de capacidad en Bioseguridad.</p> |
| Financiamiento gubernamental | <p>El Estado mexicano invierte muy poco tanto en el fomento a la agricultura como en el fomento a la investigación científica y tecnológica</p> | <p>Sería muy importante el establecimiento de políticas de apoyo a la investigación científica y tecnológica dentro de un proyecto nacional en el que se identifiquen las necesidades primordiales de la sociedad mexicana, además de brindar el apoyo requerido a proyectos comunitarios para prácticas ecológicas.</p> |
| Regulación | <p>El marco regulatorio nacional se ha manejado a través de normas, reglamentos e iniciativas de ley de Bioseguridad muy generales. Podría decirse que SAGARPA es la principal instancia gubernamental encargada de la Bioseguridad en el país.</p> <p>En el plano internacional, México es signatario del Protocolo de Cartagena y</p> | <p>Debido a que es una realidad la siembra de cultivos transgénicos en el país, es necesaria la aprobación de una ley de Bioseguridad que tome en cuenta la opinión de todos los sectores de la sociedad y que contemple aspectos fundamentales como la protección a la salud y a la biodiversidad, el etiquetado y lo relacionado con las patentes, además de exigir por lo menos lo que requiere el Protocolo de</p> |



| ASPECTO DE DISCUSIÓN | SITUACIÓN ACTUAL EN MEXICO | PROPUESTA ALTERNATIVA |
|-----------------------------|---|--|
| | participa en el Proyecto GEF para creación de la capacidad. | Cartagena. Es importante que se formen comités consultivos de expertos para la evaluación de legislación en materia de Bioseguridad, los cuales deberían estar formados por especialistas que representen diferentes intereses y disciplinas, y donde estén incluidos representantes de los consumidores. |

Frente al panorama que registramos desde esta perspectiva, las diferentes alternativas planteadas para lograr la seguridad alimentaria en México y en el mundo, deben coincidir con lo que se conoce hoy como desarrollo sustentable, que plantea en su versión más acabada la idea de introducir y de adoptar una nueva ética global por la solidaridad y la supervivencia y que indudablemente, podría aglutinar a una buena parte de la ciencia y la tecnología.

VII. CONCLUSIONES



A continuación se presentan las conclusiones más importantes a las que se llegaron a partir del estudio multidisciplinario sobre el impacto y regulación de los alimentos transgénicos en México:

La Biotecnología Moderna es una herramienta poderosa con un gran potencial y que por lo tanto, tiene repercusiones importantes en un gran número de sectores: la agricultura, la industria química y farmacéutica, la minería, la sanidad y la protección del medio ambiente, entre otros. El gran potencial de impacto que significan estas nuevas tecnologías las han situado en los debates sociopolíticos y ambientales más vivos de nuestra época: la seguridad alimentaria y el hambre en el mundo, la biodiversidad, el desarrollo sostenible, la transferencia de tecnologías, los derechos de propiedad intelectual, entre otros.

Junto a seductoras promesas de bienestar, salud, riqueza y desarrollo, se han identificado también peligros potenciales para los ecosistemas, las poblaciones humanas y sus derechos fundamentales. Resulta un tanto difícil dar respuestas claras, los conocimientos actuales son insuficientes para evaluar los beneficios y riesgos de estas nuevas tecnologías, especialmente a la luz de las consecuencias a largo plazo que dichas tecnologías puedan tener; en lo que respecta al consumo de alimentos transgénicos, no existen casos documentados de daños a la salud humana o de desastres ambientales, sin embargo, tampoco se han hecho los estudios suficientes para probar su seguridad. El hambre y la pobreza de millones de seres humanos deben llamarnos a la reflexión y a la búsqueda y fortalecimiento de alternativas, por lo que también es de considerarse seriamente que las nuevas alternativas ofrecidas por la Biotecnología Moderna sean conducidas de manera ética y moralmente aceptable. Es necesario practicar una ciencia responsable; para ello, la decisión sobre la ética de los fines, la ética de los medios y la ética de las consecuencias del trabajo científico debe ir más allá de lo individual, debe reestablecerse la llamada a la responsabilidad colectiva de los trabajadores de la ciencia.

Los hechos reales indican que con los alimentos transgénicos, como una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, aún estamos haciendo muy poco por la pobreza y el hambre en el mundo. En este sentido, debieran considerarse otras alternativas como parte de una propuesta de desarrollo sustentable.

En México específicamente, el panorama es aún más complicado por tratarse de un país en desarrollo terriblemente dependiente en lo económico. Y no sólo eso, México es un país megadiverso con una gran riqueza cultural. Así pues, dadas las características únicas del país, el sistema agrícola promovido actualmente por las grandes corporaciones biotecnológicas no puede



considerarse como una alternativa para lograr la seguridad alimentaria. El desarrollo de otras alternativas es esencial.

La alternativa en torno a los sistemas agrícolas y la producción de alimentos en México debe tener como fin primordial la soberanía alimentaria, y como parte de una propuesta a largo plazo, sería sumamente importante el impulso de prácticas agroecológicas y el uso eficiente de la energía en pequeñas unidades de producción.

Ahora bien, con respecto a la situación actual en torno a la Biotecnología y los alimentos transgénicos en México, es imprescindible emprender acciones a corto plazo que contemplen la protección al medio ambiente y a la salud humana, además de garantizar la seguridad de los grupos sociales más vulnerables a los efectos de estas nuevas tecnologías (campesinos e indígenas):

- Es elemental la conservación de la biodiversidad, y en este sentido, el principio precautorio debe ser la premisa para un país megadiverso como México.
- No es viable la liberación al medio ambiente de OGMs de los cuales México es centro de origen y diversidad genética. Al respecto, sería importante mantener la moratoria a la siembra experimental de maíz transgénico. Aquellas zonas consideradas como áreas naturales protegidas tampoco deberán exponerse a los efectos impredecibles de la liberación de OGMs al medio ambiente.
- La creación de bancos de germoplasma y el rescate de cultivos tradicionales son prácticas prioritarias que debieran anteponerse al uso de híbridos o transgénicos.
- Sería muy importante el establecimiento de políticas de apoyo a la investigación científica y tecnológica dentro de un proyecto nacional en el que se identifiquen las necesidades primordiales de la sociedad mexicana, además de brindar el apoyo requerido a proyectos comunitarios para prácticas ecológicas.
- Antes de impulsar políticas para la siembra de nuevos cultivos transgénicos, debe establecerse una moratoria y llevarse a cabo estudios científicos sobre sus riesgos potenciales.
- Respecto a la comercialización de productos transgénicos, sería importante exigir la identificación de los cargamentos de importación que puedan contener OGMs, para tomar las medidas de Bioseguridad necesarias.



- El etiquetado de los alimentos transgénicos como tales es fundamental. Por supuesto que la información en la etiqueta debe ser clara, verídica y suficiente; no debe generar confusión en el consumidor.
- Es importante establecer grupos de investigación de instituciones independientes que realicen estudios científicos sobre los riesgos potenciales asociados a los alimentos transgénicos en México. La valoración de la seguridad de estos productos deberá ser caso por caso.
- Es imprescindible monitorear constantemente los campos en los que se detectó la presencia de transgenes en maíz criollo en Puebla y Oaxaca.
- Debido a que es una realidad la siembra de cultivos transgénicos en el país, es necesaria la aprobación de una ley de Bioseguridad que tome en cuenta la opinión de todos los sectores de la sociedad y que contemple aspectos fundamentales como la protección a la salud y a la biodiversidad, el etiquetado y lo relacionado con las patentes, además de exigir por lo menos lo que requiere el Protocolo de Cartagena.
- Es importante que se formen comités consultivos de expertos para la evaluación de legislación en materia de Bioseguridad, los cuales deberían estar formados por especialistas que representen diferentes intereses y disciplinas, y donde estén incluidos representantes de los consumidores.

Por otro lado, es indispensable que el debate en torno a la Biotecnología y los alimentos transgénicos se ponga en marcha en el seno de la sociedad en general; la decisión sobre el tipo de mundo y la clase de sociedad donde viviremos debiera ser una decisión consensuada, avalada por el marco regulatorio correspondiente. El debate público en México se ha dado principalmente entre algunos miembros del sector académico, ONGs, organizaciones gubernamentales y representantes del sector privado. No se ha logrado ningún consenso, en gran medida debido a que la discusión se ha politizado demasiado, además de que existen diversos intereses involucrados.

El actor que falta en el proceso de discusión sobre alimentos transgénicos en México es el propio consumidor. La mayoría de la gente tiene escaso conocimiento sobre la emergencia de la Biotecnología y difícilmente puede adoptar una postura definida, lo que dificulta su participación en el debate público.

La participación informada de los integrantes de los diversos sectores agrícolas, de consumidores y en general de toda la sociedad mexicana en el proceso de toma de decisiones relativas a los alimentos transgénicos y OGMs, requiere mayor transparencia, confianza y credibilidad de parte de los sectores académicos, ONGs, los gobiernos y el sector privado.

VIII. ANEXOS



ANEXO A

SITUACIÓN MUNDIAL DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS APROBADOS HASTA EL 2003

Agriculture and Biotechnology Strategies (Canada) Inc.

| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|--|---|----------------|------------|------------------------|----------|
| 1. Canola Argentina "Liberty-Link™ Independence" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) HCN10 | Aventis CropScience | Canadá | 1995 | 1995/1995 | |
| | | Japón | 1997 | 1997/1998 | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1995 | |
| 2. Canola Argentina "Liberty-Link™ Innovator" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) HCN92 | Aventis CropScience | Canadá | 1995 | 1995/1995 | 1998 |
| | | Unión Europea | | | |
| | | Japón | 1996 | 1996/1996 | |
| 3. Canola Argentina (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) T45 (HCN28) | Bayer CropScience (Aventis CropScience(AgrEvo)) | Australia | 2003 | 2002 | |
| | | Canadá | 1996 | 1997/1995 | |
| | | Japón | 1997 | 1997/1997 | |
| 4. Canola Argentina "Roundup Ready®" (Tolerancia a herbicida glifosato) GT200 | Monsanto Company | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| | | Canadá | 1996 | 1997/- | |
| | | Estados Unidos | 2003 | 2002 | |
| 5. Canola Argentina "Westar Roundup Ready®" (Tolerancia a herbicida glifosato) GT73, RT73 | Monsanto Company | Australia | 2003 | 2000 | |
| | | Canadá | 1995 | 1994/1995 | |
| | | Unión Europea | | 1997/- | |
| 6. Canola Argentina (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) MS1, RF1 =>PGS1 | Aventis CropScience (Plant Genetic Systems) | Japón | 1996 | 1996/1996 | 1996 |
| | | Estados Unidos | 1999 | 1995 | |
| | | Australia | 2003 | 2002 | |
| | | Canadá | 1995 | 1995 | |
| | | Unión Europea | | | |
| | | Japón | 1996 | 1996-1996 | |
| | | Estados Unidos | 2002 | 1996 | |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|--|---|----------------|------------|------------------------|----------|
| 7. Canola Argentina (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) MS1, RF1 =>PGS1 | Aventis CropScience (Plant Genetic Systems) | Australia | 2003 | 2002 | 1997 |
| | | Canadá | 1995 | 1995-1995 | |
| | | Unión Europea | | | |
| | | Japón | 1997 | 1997-1997 | |
| | | Estados Unidos | 2002 | 1996 | |
| 8. Canola Argentina (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) MSBxRF3 | Aventis CropScience (Plant Genetic Systems) | Australia | 2003 | 2002 | |
| | | Canadá | 1996 | 1997/1996 | |
| | | Japón | 1998 | 1997/1998 | |
| | | Estados Unidos | 1999 | 1996 | |
| 9. Canola Argentina (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) PHY14, PHY35 | Aventis CropScience (Plant Genetic Systems) | Japón | 1997 | 1997/1998 | |
| 10. Canola Argentina (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) PHY36 | Aventis CropScience (Plant Genetic Systems) | Japón | 1997 | 1997/1997 | |
| 11. Canola Argentina "Clearfield™ 45A71, 45A72 Pursuit, Odyssey" (Tolerancia a herbicida imidazolinono) NS738, NS1471, NS1473 | Pioneer Hi-Bred International Inc. | Canadá | 1995 | 1995/1995 | |
| | | | | | |
| 12. Canola Argentina (Modificación en el contenido de ácidos grasos) 23-18-17, 23-198 | Calgene Inc. | Canadá | 1996 | 1996/1996 | |
| | | Estados Unidos | 1994 | 1994 | |
| 13. Canola Argentina (Modificación en el contenido de ácidos grasos) 45A37, 46A40 | Pioneer Hi-Bred International Inc. | Canadá | | 1996/- | |
| 14. Canola Argentina (Modificación en el contenido de ácidos grasos) 46A12, 46A16 | Pioneer Hi-Bred International Inc. | Canadá | | 1996/- | |
| 15. Canola Argentina "Westar OXY-235" (Tolerancia a herbicida oxinil) OXY-235 | Aventis CropScience (Rhône Poulenc Inc.) | Australia | | 2002/- | |
| | | Canadá | 1997 | 1997/1997 | |
| | | Japón | 1998 | 1999/1999 | |
| | | Estados Unidos | | 1999/- | |
| 16. Clavel (Retardo en la maduración) 66 | Florigene Pty Ltd. | Australia | 1995 | | 1998 |
| | | Unión Europea | 1998 | | |
| 17. Clavel (Cambio en el color de flor y tolerancia a herbicida sulfonilurea) 4, 11, 15, 16 | Florigene Pty Ltd. | Australia | 1995 | | 1997 |
| | | Unión Europea | | | |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|---|---|----------------|------------|------------------------|----------|
| 18. Clavel (Cambio en el color de flor y tolerancia a herbicida sulfonilurea) 959A, 988A, 1226A, 1351A, 1363A, 1400A | Florigene Pty Ltd. | Unión Europea | 1998 | | 1998 |
| 19. Achicoria (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) RM3-3, RM3-4, RM3-6 | Bejo Zaden BV | Unión Europea | 1996 | | 1996 |
| | | Estados Unidos | 1997 | 1997 | |
| 20. Algodón (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) LLCotton25 | Bayer CropScience (Aventis CropScience(AgrEvo)) | Estados Unidos | 2003 | | |
| | | Argentina | 1999 | 2001/2001 | |
| 21. Algodón "Roundup Ready®" (Tolerancia a herbicida glifosato) MON1445/1698 | Monsanto Company | Australia | 2000 | 2000/- | |
| | | Canadá | | 2000/1996 | |
| | | Japón | 1997 | 1997/1998 | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1995 | |
| | | Australia | 2002 | 2002/- | |
| 22. Algodón "Bollgard II®" (Resistencia a insectos) 15985 | Monsanto Company | Canadá | 2003 | 2003/2003 | |
| | | Japón | | 2002/2003 | |
| | | Estados Unidos | 2002 | 2002/- | |
| | | Argentina | 1998 | 1998/1998 | |
| | | Australia | 1996 | 1996/1996 | |
| 23. Algodón "Bollgard®" (Resistencia a insectos) MON531/757/1076 | Monsanto Company | Canadá | | 1996/1996 | |
| | | China | 1997 | 1997/1997 | |
| | | India | 2002 | | |
| | | Japón | 1997 | 1997/1997 | |
| | | México | 1997 | 1997/1997 | |
| | | Sudáfrica | 1997 | 1997/1997 | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1995 | |
| | | Japón | 1998 | 1999/1999 | |
| | | Estados Unidos | 1997 | 1998 | |
| | | Australia | | 2002 | |
| 24. Algodón (Resistencia a insectos y tolerancia a herbicida oxinil) 31807/31808 | Calgene Inc. | Canadá | | 1996/1996 | |
| | | Japón | 1997 | 1997/1998 | |
| | | Estados Unidos | 1994 | 1994 | |
| | | Estados Unidos | 1997 | 1997/1998 | |
| 25. Algodón (Tolerancia a herbicida oxinil) BXN | Calgene Inc. | Estados Unidos | 1994 | 1994 | |
| | | Japón | 1997 | 1997/1998 | |
| | | Canadá | | 1996/1996 | |
| | | Australia | | 2002 | |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio | |
|---|--|----------------|------------|------------------------|----------|------|
| 26. Algodón (Tolerancia a herbicida sulfonilurea) 19-51A | DuPont Canada Agricultural Products | Estados Unidos | 1996 | 1996 | | |
| 27. Lino "CDC Triffid" (Tolerancia a herbicida sulfonilurea) FP967 | University of Saskatchewan, Crop Dev. Centre | Canadá | 1996 | 1998/1996 | | |
| | | Estados Unidos | 1999 | 1998 | | |
| 28. Maíz (Tolerancia a herbicida ciclohexanono) DK404SR | BASF Inc | Canadá | 1996 | 1997/1996 | | |
| 29. Maíz (Resistencia a insectos) MON80100 | Monsanto Company | Estados Unidos | 1995 | 1996 | | |
| 30. Maíz "Yieldgard®" (Resistencia a insectos y tolerancia a herbicida glifosato) MON802 | Monsanto Company | Canadá | 1997 | 1997/1997 | | |
| | | Japón | 1997 | | | |
| | | Estados Unidos | 1997 | 1996 | | |
| 31. Maíz (Resistencia a insectos y tolerancia a herbicida glifosato) MON809 | Pioneer Hi-Bred International Inc. | Canadá | 1996 | 1996/1996 | | |
| | | Japón | 1997 | -/1998 | | |
| | | Estados Unidos | 1996 | 1996 | | |
| | | Canadá | 1996 | 1996/1996 | | |
| 32. Maíz (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) B16 (DLL25) | Dekalb Genetics Corporation | Japón | 1999 | 1999/2000 | | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1996 | | |
| | | Argentina | 1998 | 1998/1998 | | |
| 33. Maíz "Liberty-Link™" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) T14, T25 | Aventis CropScience | Australia | | 2002 | | |
| | | Canadá | 1996 | 1997/1996 | | |
| | | Unión Europea | | 1998 | 1998 | 1998 |
| | | Japón | 1997 | 1997/1997 | | |
| 34. Maíz (Tolerancia a herbicida imidazolinono) 3751IR | Pioneer Hi-Bred International Inc. | Estados Unidos | 1995 | 1995 | | |
| | | Canadá | 1996 | 1994/1996 | | |
| | | Argentina | 1998 | | | |
| | | Australia | | 2000/- | | |
| 35. Maíz "Roundup Ready®" (Tolerancia a herbicida glifosato) GA21 | Monsanto Company | Canadá | 1998 | 1999/1998 | | |
| | | Japón | 1998 | 1999/1999 | | |
| | | Corea | | 2002/- | | |
| | | Estados Unidos | 1997 | 1996 | | |
| 36. Maíz (Tolerancia a herbicida imidazolinono) IT | Pioneer Hi-Bred International Inc. | Canadá | | 1998/- | | |
| 37. Maíz (Tolerancia a herbicida glifosato) MON832 | Monsanto Company | Canadá | | 1997/- | | |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|--|---|---|---------------------|------------------------|----------|
| 38. Maíz "Roundup Ready®" (Tolerancia a herbicida glifosato) NK603 | Monsanto Company | Australia | | 2002/- | |
| | | Canadá | 2001 | 2001/2001 | |
| | | Japón | 2001 | 2001/2001 | |
| | | Estados Unidos | 2000 | 2000 | |
| 39. Maíz (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) 676, 678, 680 | Pioneer Hi-Bred International Inc. | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 40. Maíz "InVigor™" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) MS3 | Aventis CropScience (Plant Genetic Systems) | Canadá | 1996 | 1997/1998 | |
| | | Estados Unidos | 1996 | 1996 | |
| 41. Maíz "InVigor™" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y fertilidad) MS6 | Aventis CropScience | Estados Unidos | 1999 | 2000 | |
| 42. Maíz "NaturGard™ KnockOut™" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y resistencia a insectos) 176 | Syngenta Seeds, Inc. | Argentina | 1996 | 1998/1998 | |
| | | Australia | | 2001 | |
| | | Canadá | 1996 | 1995/1996 | |
| | | Unión Europea | 1997 | 1997/1997 | |
| | | Japón | 1996 | 1996/1996 | |
| | | Países Bajos | | 1997/1997 | |
| | | Suiza | | 1997/1997 | |
| | | Reino Unido | | 1997/- | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1995 | |
| 43. Maíz (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y resistencia a insectos) BT11 (X4334CBR, X4734CBR) | Syngenta Seeds, Inc | Argentina | 2001 | 2001/2001 | |
| | | Australia | | 2001 | |
| | | Canadá | 1996 | 1996/1996 | |
| | | Unión Europea | | 1998/1998 | 1998 |
| | | Japón | 1996 | 1996/1996 | |
| | | Suiza | | 1998/1998 | |
| | | Reino Unido | | 1998/1998 | |
| | | Estados Unidos | 1996 | 1996 | |
| | | 44. Maíz "StarLink™" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y resistencia a insectos) CBH-351 | Aventis CropScience | Estados Unidos | 1998 |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|--|--|----------------|------------|------------------------|----------|
| 45. Maíz "Bt Xtra™" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y resistencia a insectos) DBT418 | Dekalb Genetics Corporation | Argentina | 1998 | | |
| | | Australia | | 2002/- | |
| | | Canadá | 1997 | 1997/1997 | |
| | | Japón | 1999 | 1999/- | |
| | | Estados Unidos | 1997 | 1997 | |
| 46. Maíz "Herculex™ I" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio y resistencia a insectos) TC1507 | Mycogen (c/o Dow AgroSciences); Pioneer (c/o Dupont) | Canadá | 2002 | 2002/2002 | |
| | | Japón | 2002 | 2002/2002 | |
| | | Estados Unidos | 2001 | 2001 | |
| 47. Maíz (Tolerancia a herbicida imidazolinono) EXP1910IT | Syngenta Seeds, Inc. (Zeneca Seeds) | Canadá | 1996 | 1997/1996 | |
| 48. Maíz "Yieldgard®" (Resistencia a insectos) MON810 | Monsanto Company | Argentina | 1998 | 1998/1998 | |
| | | Australia | | 2000/- | |
| | | Canadá | 1997 | 1997/1997 | |
| | | Unión Europea | 1998 | 1998 | 1998 |
| | | Japón | 1996 | 1997/1997 | |
| | | Corea | | 2002/- | |
| | | Filipinas | 2002 | 2002/- | |
| | | Sudáfrica | 1997 | 1997/1997 | |
| | | Suiza | | 2000/2000 | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1996 | |
| 49. Maíz (Resistencia a insectos) MON863 | Monsanto Company | Australia | | 2003 | |
| | | Canadá | 2003 | 2003/2003 | |
| | | Japón | | 2002/2002 | 2001 |
| | | Estados Unidos | 2003 | 2001 | |
| 50. Melón (Retardo en la maduración) A, B | Agritope Inc. | Estados Unidos | | | |
| 51. Papaya (Resistencia a virus) 55-1/63-1 | Cornell University | Canadá | | 2003/- | |
| | | Estados Unidos | 1996 | 1997 | |
| 52. Canola Polaca (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) HCR-1 | Bayer CropScience (Aventis CropScience(AgrEvo)) | Canadá | 1998 | -/1998 | |
| 53. Canola Polaca "Hysyn 101 RR Roundup-Ready™" (Tolerancia a herbicida glifosato) ZSR500/502 | Monsanto Company | Canadá | 1997 | -/1997 | |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|--|---|----------------|------------|------------------------|----------|
| 54. Papa "Atlantic and Superior NewLeaf®" (Resistencia a insectos) ATBT04-6, ATBT04-27, ATBT04-30, ATBT04-31, ATBT04-36, SPBT02-5, SPBT02-7 | Monsanto Company | Australia | 1997 | 2001 | |
| | | Canadá | | 1996/1997 | |
| | | Japón | | 1997/- | |
| | | Estados Unidos | 1996 | | |
| 55. Papa "Russet Burbank NewLeaf®" (Resistencia a insectos) BT6, BT10, BT12, BT16, BT17, BT18, BT23 | Monsanto Company | Canadá | 1995 | 1995/1995 | |
| | | Japón | | 1996/- | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1994 | |
| 56. Papa "NewLeaf® Y" (Resistencia a insectos y resistencia a virus) RBMT15-101, SEMT15-02, SEMT15-15 | Monsanto Company | Australia | 1999 | 2001 | |
| | | Canadá | | 1999/1999 | |
| | | Estados Unidos | 1999 | 1998 | |
| 57. Papa "Russet Burbank NewLeaf® Plus" (Resistencia a insectos y resistencia a virus) RBMT21-129, RBMT21-350, RBMT22-082 | Monsanto Company | Australia | 1999 | 2001 | |
| | | Canadá | | 1999/1999 | |
| | | Japón | | -/2001 | |
| | | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 58. Arroz "Liberty-Link™" (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) LLRICE06, LLRICE62 | Aventis CropScience | Estados Unidos | 1999 | 2000 | |
| 59. Arroz "CLEARFIELD™" (Tolerancia a herbicida imidazolinono) CL121, CL141, CFX51 | BASF Inc. | Canadá | | 2002/2002 | |
| | | Canadá | 1999 | 2000/2000 | |
| 60. Soya (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) A2704-12, A2704-21, A5547-35 | Aventis CropScience | Japón | 1999 | 2002/2003 | |
| | | Estados Unidos | 1996 | 1998 | |
| | | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 61. Soya (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) A5547-127 | Bayer CropScience (Aventis CropScience(AgrEvo)) | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 62. Soya (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) GU262 | Bayer CropScience (Aventis CropScience(AgrEvo)) | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 63. Soya (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) W62, W98 | Bayer CropScience (Aventis CropScience(AgrEvo)) | Estados Unidos | 1996 | 1998 | |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|---|--|-----------------|------------|------------------------|----------|
| 64. Soya (Tolerancia a herbicida glifosato) GTS 40-3-2 | Monsanto Company | Argentina | 1996 | 1996/1996 | |
| | | Australia | | 2000/- | |
| | | Brasil | 1998 | 1998/1998 | |
| | | Canadá | 1995 | 1996/1995 | |
| | | República Checa | | 2001/2001 | 2001 |
| | | Unión Europea | | | 1996 |
| | | Japón | 1996 | 1996/1996 | |
| | | Corea | | 2000/- | |
| | | México | 1998 | 1998/1998 | |
| | | Rusia | | 1999/- | 1999 |
| | | Sudáfrica | 2001 | 2001/2001 | |
| | | Suiza | | 1996/1996 | |
| | | Reino Unido | | 1996/1996 | |
| | | Estados Unidos | 1994 | 1994 | |
| | | Uruguay | 1997 | 1997/1997 | |
| 65. Soya (Modificación en el contenido de ácidos grasos) G94-1, G94-19, G168 | DuPont Canada Agricultural Products | Australia | | 2000/- | |
| | | Canadá | 2000 | 2000/2000 | |
| | | Japón | 1999 | 2001/2000 | |
| | | Estados Unidos | 1997 | 1997 | |
| 66. Soya (Modificación en el contenido de ácidos grasos) OT96-15 | Agriculture & Agri-Food Canada | Canadá | | 2001/- | |
| 67. Calabaza (Resistencia a virus) CZW-3 | Asgrow (USA); Seminis Vegetable Inc. (Canada) | Canadá | | 1998/- | |
| | | Estados Unidos | 1996 | 1994 | |
| 68. Calabaza (Resistencia a virus) ZW20 | Upjohn (USA); Seminis Vegetable Inc. (Canada) | Canadá | | 1998/- | |
| | | Estados Unidos | 1994 | 1997 | |
| 69. Remolacha (Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio) T120-7 | Bayer CropScience (Aventis CropScience(AgrEvo)) | Canadá | 2001 | 2000/2001 | |
| | | Japón | | 1999/1999 | |
| | | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 70. Remolacha "InVigor™" (Tolerancia a herbicida glifosato) GTSB77 | Novartis Seeds; Monsanto Company | Australia | | 2002 | |
| | | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 71. Girasol "CLEARFIELD™" (Tolerancia a herbicida imidazolinono) X81359 | BASF Inc. | Canadá | | 2003/- | |
| 72. Tabaco "ITB 1000 OX" (Tolerancia a herbicida Oxinil) C/F/93/08-02 | Societe National d'Exploitation des Tabacs et Allumettes | Unión Europea | | | 1994 |



| Cultivo, Tratamiento y Clave | Compañía | País | Plantación | Alimentación / forraje | Comercio |
|---|----------------------------------|----------------|------------|------------------------|----------|
| 73. Tabaco (Cualidades organolépticas) Vector 21-41 | | Estados Unidos | 2002 | | |
| 74. Tomate (Retraso en la maduración) 1345-4 | DNA Plant Technology Corporation | Canadá | | 1995/- | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1994 | |
| 75. Tomate (Retraso en la maduración) 35 1 N | AgriTope Inc. | Estados Unidos | 1996 | 1996 | |
| 76. Tomate (Retraso en la maduración) 8338 | Monsanto Company | Estados Unidos | 1995 | 1994 | |
| 77. Tomate (Retraso en la maduración) B, Da, F | Zeneca Seeds | Canadá | | 1996/- | |
| | | Estados Unidos | 1995 | 1994 | |
| 78. Tomate (Retraso en la maduración) FLAVR SAVR | Calgene Inc. | Canadá | | 1995/- | |
| | | Japón | 1996 | 1997/- | |
| | | México | 1995 | 1995/1995 | |
| | | Estados Unidos | 1992 | 1994 | |
| 79. Tomate (Resistencia a insectos) 5345 | Monsanto Company | Canadá | | 2000/- | |
| | | Estados Unidos | 1998 | 1998 | |
| 80. Trigo (Tolerancia a herbicida imidazolinono) SWP965001 | Cyanamid Crop Protection | Canadá | 1998 | 1999/1999 | |



ANEXO B

ENTREVISTAS A ESPECIALISTAS INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE DISCUSIÓN

1. DRA. ALEJANDRA ALICIA COVARRUBIAS ROBLES INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA (UNAM)

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo?

Es una herramienta estratégica siempre y cuando se combine con algún otro tipo de tecnología que pueda ser benéfica. No es la panacea, sí puede ayudar a resolver muchos problemas pero siempre y cuando sean claros los objetivos que se quieren alcanzar.

En particular, en la agricultura, la Biotecnología tradicional es todavía indispensable en todo el mundo. Muchos de los problemas que la agricultura presenta, al menos por ahora y por un buen rato, no se van a resolver solamente con Biotecnología que involucre DNA recombinante. En México, requerimos particularmente combinar ambos tipos de Biotecnología, no solamente porque tenga que ser así o por razones ideológicas, sino porque tecnológicamente es necesario.

Un ejemplo muy simple: Hay algunas variedades vegetales que pueden ser transformadas y que por lo tanto es posible aplicar técnicas de Ingeniería Genética, pero existen otras que no lo son. También, por otro lado, se puede tener una variedad o especie vegetal particular que sea resistente a varios patógenos y que se desee volver resistente a sequía o a congelamiento, pero que sin embargo no sea posible transformarla, o al revés. Por lo tanto, es absolutamente necesario combinar Biotecnología tradicional con Biotecnología moderna. De hecho, las grandes compañías, los grandes monopolios agrícolas, hacen combinaciones de técnicas de

este tipo, pueden obtener una planta transgénica que sea resistente a un herbicida e introducirle otras características genéticas a través de cruza o de una tecnología tradicional para obtener una mejor variedad. Adicionalmente, está la cuestión de que no todas las plantas son adaptables a un determinado medio ambiente. Una tecnología no puede barrer con los diferentes nichos ecológicos, aún cuando la planta sea altamente productiva, es necesario también que tenga ciertas características de adaptabilidad a diferentes nichos. México es particularmente una región geográfica muy variable (regiones altas, bajas, húmedas, secas, etc.), no es posible introducir nada más así porque sí una variedad de maíz, por ejemplo, altamente productiva, sería una pésima estrategia pues posiblemente no crecería en todas las regiones del país.

2. ¿Cree usted que los alimentos transgénicos, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene un país como México para lograr la seguridad en el abasto de alimentos?

No. Soy de la opinión de que el problema de hambre en el mundo no se va a resolver con transgénicos. Esto es sólo una falacia. Ese es un argumento que utilizan mucho los biotecnólogos y las compañías en Biotecnología. Si uno lo visualiza desde el punto de vista de la economía mundial como está diseñada ahora, claro que entre más



venda una compañía, más dinero va a haber, lo que de alguna manera estimula a la economía mundial. El problema del hambre es un problema de distribución de alimentos. No es una invención el decir que hay muchos alimentos que se tiran precisamente porque se tendrían que vender tan baratos que bajarían el precio, y también es verdad que los monopolios agronómicos diseñan sus estrategias de producción en función de quienes la compran, no en función de quienes necesitan esos granos. México no depende necesariamente de ese tipo de tecnologías. Si se reorganizara la agricultura se tendría que plantear desde varios puntos de vista; desde el punto de vista social, desde el punto de vista económico, etc. Estas tecnologías debieran poder ser aplicables entonces a diferentes regiones y a las necesidades propias de cada región en el país. Desde ese punto de vista, es muy importante considerar las necesidades de alimento de diferentes regiones del país, esto es más importante que simplemente aumentar la producción. En México tendría que hacerse un análisis de qué tipo de cultivos requieren ese tipo de tecnologías, es decir, analizar si no existe una alternativa de tecnología más simple o más barata que nos permita resolver ese problema. Si la Biotecnología viene a ser una tecnología más simple y más barata, más conveniente desde el punto de vista social y económico, entonces tendría que ser aplicable. La Biotecnología es como cualquier otra tecnología, tiene que ser evaluada como una herramienta que puede ser combinada con otras, si resuelve el problema directamente puede entonces ser aplicada. Si resuelve un problema de hambre realmente vale la pena tomar el riesgo. Tal y como sucede con los antibióticos, éstos representan un problema ecológico y de salud, pero vale la pena tomar el riesgo ya que resuelven otros problemas evitando pandemias e incluso, la muerte de seres humanos. La Biotecnología Moderna, bien aplicada, puede resolver varios problemas, pero no debemos verlo desde el punto de vista de la empresa que busca

acumular ganancias, sino desde el punto de vista de resolver un problema real.

3. ¿Considera usted que en México se cuenta con la capacidad técnica y científica lo suficientemente madura para el desarrollo, la siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola?

¿Cree usted que México pueda competir con otras naciones en la generación y exportación de Biotecnología Moderna y de productos terminados de alto valor agregado de origen biotecnológico?

Si se pudiera establecer una política agrícola razonada en la cual se diera prioridad a los problemas propios del país, entonces México y su comunidad científica estarían en posibilidades de generar, a partir de la Biotecnología Moderna, especies que resuelvan ciertos problemas. Por otro lado, es cierto que el avance tecnológico es sumamente acelerado y la visión de los políticos en este país es bastante limitada en cuanto al apoyo para el avance de la ciencia y la tecnología. Esto limita de alguna forma a la comunidad científica. Estamos en posibilidad de usar todas las metodologías modernas que han surgido, asimilarlas rápidamente, existe el personal y la capacidad técnica. Quizás lo que no existe es un sistema *ad hoc*, es decir, tener una estructura para detectar un problema, establecer una estrategia y posteriormente, aplicarla para resolver el problema. Si esto existiera, estaríamos ya en posibilidades de tener una producción nacional, de ser autosuficientes, en lugar de estar importando más del 50 por ciento del maíz que se consume.

Por otro lado, estamos en posibilidades de innovar tecnologías que fueran integradas como parte de una nueva Biotecnología, pero no estamos en el mismo nivel de competencia que los países más desarrollados. Esto se debe en gran medida a que la visión es tan limitada que no permite llevar a cabo proyectos de alto riesgo. Existe poca inversión en desarrollo de nueva tecnología. Las autoridades en estos niveles pretenden que la



comunidad científica contribuya con tecnologías que resuelvan problemas inmediatos. Es necesario tener una visión a futuro, si realmente se desea innovar y tener tecnología propia, se necesita impulsar tecnología de mediano y alto riesgo. Hay algunos grupos que están en estas posibilidades, pero que con respecto a la comunidad científica mexicana no representan algo significativo. Sin quitar el mérito a los grupos que están en lugares como el IBT (Instituto de Biotecnología) o en el CINVESTAV Irapuato, que pudieran estar en un alto nivel de competencia, la ciencia en el país no se encuentra en un nivel realmente competitivo, para ello se requeriría tener una crítica *ad hoc*. Se requiere entonces de conciencia y de muchísimo trabajo, se necesitan líderes con visión y audacia, con valor para enfrentar problemas, no sólo de índole tecnológico, sino los problemas que implica la carencia de nichos de trabajo y de condiciones para el rápido desarrollo.

Pero vale la pena comentar que la ciencia en México ha progresado, las cosas pudieron haber mejorado aún más, el problema es que se han dirigido más al sabor político que al verdadero deseo de mejorar. Todo se va en palabras, y no se habla de hechos reales. Valdría la pena cuestionarse qué tan significativo es un grupo que ayude a una empresa a hacer productos recombinados en todo un país.

Se requiere entonces que los políticos tengan una visión de alto riesgo que permita a la comunidad científica mexicana innovar y avanzar en Biotecnología moderna.

Es cierto que México es un país con pocos recursos, pero también es cierto que los pocos que tenemos no los hemos sabido utilizar. Queda mucho por hacer.

4. ¿Cuál cree usted que ha sido la aportación de la comunidad científica mexicana en materia de Biotecnología?

En Biotecnología Agrícola, que es el área que conozco mejor, se ha presentado un problema y es que no están definidas con claridad

cuáles son las prioridades a resolver. Hasta ahora, los problemas agrícolas que requieren de la aplicación de una técnica han sido resueltos básicamente con tecnología tradicional, la cual ha sido esencial (generación de híbridos, por ejemplo). Las variedades resistentes a sequía que se han comercializado se han obtenido realmente a partir de Biotecnología tradicional. Tecnología generada en México en cuanto a Biotecnología agrícola honestamente no hay ninguna.

Por otro lado, está el grupo de CINVESTAV Irapuato que ha tenido la misión de contribuir a la generación de tecnologías aplicadas a la Biotecnología Moderna bajo el liderazgo de Luis Herrera (quizás es él quien más aportaciones ha hecho, sobre todo por su última contribución que consistió en la posibilidad de tener plantas que crezcan en suelos tropicales, aunque todavía no es aplicada a la agricultura) que tiene algunas contribuciones importantes, pero que no han tenido un impacto real pues no han estado dentro de un marco donde se hayan definido adecuadamente los problemas a resolver. Incluso, muchas veces han tenido que retroceder, por ejemplo, desarrollan una papa transgénica que parece no funcionar en todas las regiones, e incluso, ni siquiera en la región donde se esperaba que sí funcionara. Se producen organismos transgénicos pero no se usan masivamente en México.

Sabemos que importamos maíz transgénico de Estados Unidos transformado con la toxina *Bt* para resistencia de insectos, que se supone que es para consumo animal. También se produce jitomate transgénico que se siembra por los agricultores del norte del país, también transformado con la toxina *Bt*, la mayor parte para exportación. Por lo demás, siguen siendo cultivos generados en el CIMMYT o en el INIFAP. CINVESTAV está en una posición de poder contribuir dentro de un marco de referencia que pudiera ser útil. Nosotros también, aunque nuestra misión es más hacia tratar de entender los procesos fundamentales y básicos. Muchos grupos del IBT relacionados con la Biotecnología agrícola o vegetal están encaminados a proyectos que



pueden tener un impacto a largo plazo. En particular, hay gente que trabaja en plantas con tolerancia a altas temperaturas, con fijación de nitrógeno, etc. Todas estas áreas pueden tener un impacto a la larga en problemas agrícolas importantes. Se requiere un marco mucho más organizado para ser más eficientes.

Es importante que la investigación que se haga tenga un impacto hacia fuera, que los productos que se desarrollen realmente se utilicen. Generación de redes universidad-empresa.

Pienso que en este momento estamos en posibilidades de resolver los problemas fundamentales. Por ejemplo, el CINVESTAV está trabajando con el maíz y el frijol, está generando una base de datos muy completa que puede tener un impacto tecnológico importante a la larga.

Tampoco hay compañías o empresas mexicanas que quieran invertir y apoyar investigaciones en Biotecnología porque no tienen una visión de riesgo. No hay empresas biotecnológicas mexicanas.

Para mí, una solución puede ser un consorcio con una parte de INIFAP. Tener una especie de red que funcione dinámicamente. INIFAP tiene una valiosísima base de datos en cuanto a las variedades de granos básicos que se siembran en el país, sobre cuáles son las regiones en donde se siembran, etc.

Es importante también generar equipos de científicos que su misión no sea tanto la investigación hacia la generación de algo, sino únicamente producir ciertos elementos biotecnológicos, es decir, no confundir la misión de la universidad con la misión de una unidad de servicio o una unidad técnica, que es más la misión de INIFAP. INIFAP existe porque tiene que resolver problemas prácticos. La universidad existe porque tiene que resolver problemas conceptuales y generar herramientas para resolver otros problemas. Falta este intermedio. INIFAP ha hecho estos intentos.

En cuanto a Biotecnología que no utilice DNA recombinante, como generación de plantas por cultivo de tejidos, regeneración, semilla

viva para acortar ciclos de producción (como en el caso de los agaves), han habido más aportaciones. En el caso de los agaves, incluso existen empresas que han apoyado diversos proyectos de investigación. Existen además investigaciones que no implican un conocimiento fundamental, artesanales, como encontrar la condición para que una planta pueda desarrollarse adecuadamente a partir de un trozo de hoja o de raíz. Hay un grupo en Yucatán que ha estado muy involucrado en este tipo de proyectos en colaboración con empresas productoras de tequila. Hay otros grupos involucrados en la generación de estrategias para reproducir plantas en peligro de extinción. En Morelos está la producción de flores a partir de tecnologías un tanto empíricas (desplantes).

Hay grupos en Chapingo, Colegios de Postgraduados y en universidades de provincia en la generación de tecnologías para transformación de cultivos de interés agronómico como papaya, tomate, tabaco, aguacate, etc. Este tipo de proyectos tal vez generan un mayor beneficio económico y son más apoyados.

5. Respecto a los riesgos potenciales de los organismos transgénicos en la salud y el medio ambiente, ¿qué opina usted en lo que se refiere al respecto?

No existen riesgos comprobados y conocidos en la salud humana. No hay evidencias. Hablando de plantas transgénicas de gran utilidad como aquellas que están diseñadas específicamente para resistencia a patógenos (insectos, hongos o bacterias), no existe una prueba directa de que provoquen un daño a la salud. El consumo de estas plantas pareciera no tener ningún riesgo.

Por otro lado, existe un reglamento básico en donde estas plantas tienen que pasar por una serie de pruebas validadas por métodos estadísticos que involucran la seguridad en la salud, están diseñadas para mostrar que no son alergénicas, que no tienen toxinas, etc. Estas pruebas nos aseguran que no va a haber alguna reacción tóxica. Debemos considerar que las variedades híbridas (las



que cualquier campesino tiene en su parcela) que hemos consumido por mucho tiempo y que son productos naturales no pasan por estas pruebas y pueden contener sustancias tóxicas, como es el caso bien conocido del frijol que contiene una serie de sustancias que son tóxicas, existen otros alimentos de este tipo que incluso pueden causar la muerte si se comen crudos.

Existen otros riesgos, como el riesgo en el medio ambiente, sobre todo en lo que se refiere al flujo génico, es decir, qué tanto podría un transgen pasar de una especie a otra o de una variedad a otra, y cómo esto puede afectar el equilibrio ecológico de una región. Existen algunos datos en los que se muestra que el flujo génico es relativamente alto. Es el caso del maíz, hubo un trabajo publicado en un primer artículo en *Nature*, que por cierto fue muy criticado por el error que cometieron los autores de publicarlo muy prematuramente, sin embargo, es un hecho, el flujo génico en el maíz existe y hay maíces híbridos contaminados con transgenes, aunque todavía no está claro si es el transgén completo. Yo comparto la opinión de los ecólogos en cuanto a que al poner (en una cierta región) en contacto un maíz con un gen diferente al que existe en esa variedad, ciertamente puede afectarse la evolución de esa variedad de maíz, tal vez no en ese momento sino a largo plazo. Todavía no se sabe exactamente qué tanto de la función del transgén y de los genes que lo acompañan va influir o no en el ecosistema. Por ejemplo, si se sigue trabajando con genes marcadores de resistencia a antibióticos se puede afectar el sistema microbiano. Por ello, existe la tendencia de tratar de buscar marcadores alternativos.

Se requiere todavía de mucha investigación, no se sabe qué tanto puede afectarse la estructura cromosómica de un maíz, y esto qué tanto va a generar cambios en la población descendiente y a su vez qué tanto ese cambio puede generar la formación de compuestos indeseables. Lo que se ha propuesto entonces es que si las empresas biotecnológicas quieren distribuir plantas

transgénicas que si se siembran podrían afectar potencialmente un nicho ecológico particular, deben favorecer la investigación sobre flujo génico alrededor de ese nicho.

De este modo, me preocuparía por ahora el caso de aquellas plantas transgénicas cultivables que se sembraran en zonas donde hay un punto de origen, caso típico del maíz en México.

6. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige en el país?

Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

La iniciativa de ley ciertamente sí reúne la opinión de diferentes sectores de la comunidad interesados en el tema. Es interesante que no se deje de lado el uso de una tecnología por cuestiones ideológicas o políticas, sino por cuestiones validadas y objetivas, siempre y cuando esa tecnología sea útil.

En el caso de esta iniciativa la idea es que cada vez que alguien pida un permiso para sembrar o para distribuir una cierta variedad de planta transgénica, este caso se analice apropiadamente en su contexto (análisis caso por caso).

Está tan general que podrían pasar muchas cosas, por ello, a quienes les toque analizar este tipo de cuestiones, tienen que ser gente muy responsable de lo que está haciendo, no se trata de distribuir transgénicos porque están de moda, se trata de distribuir transgénicos que realmente resuelvan un problema particular.

En este sentido, las empresas extranjeras van a tratar de distribuir transgénicos que consideren que van a resolvernos un problema. La SAGARPA tiene que estar en la posición de decidir si realmente van a resolvernos un problema.

También es cierto que los que los podrían distribuir serían grandes agricultores que quisieran comprar una semilla transgénica particular para sembrarla y después



explotarla, casos que también tendrían que analizarse con mucho cuidado.

Algo importante que contempla la iniciativa es que los transgénicos que se soliciten para su distribución deberán contar con las pruebas requeridas para garantizar su seguridad en la salud, que hayan pasado las pruebas correspondientes, además de que contempla el análisis ecológico en las propuestas para solicitar los permisos.

Desde este punto de vista, la iniciativa suena razonable, sólo es cuestión de cómo se aplique.

En cuanto al marco regulatorio vigente, es un poco complejo. Yo alguna vez estuve en esta comisión que aprueba o no la introducción de algún organismo transgénico en el país, la cual era bastante cuidadosa en cuanto a aceptar o no ciertos cultivos transgénicos, en realidad pasaron muy pocos permisos por mis manos en aquella época, aunque a últimas fechas sé que han pasado más. Curiosamente, muchos de ellos no se han aprobado dado que no había una ley que controlara todo esto.

El marco regulatorio no implicaba el hecho de que fueran plantas transgénicas o no, no existía en aquella época el protocolo de Cartagena.

El marco regulatorio actual es aleatorio, diría yo, pero pudiera aplicarse apropiadamente. Muchos miembros de la comisión están conscientes de que la aprobación de este tipo de productos no es algo trivial. Las empresas transnacionales están presionando mucho, buscan que los productos transgénicos pasen de una manera más fluida, sin tantas trabas. Lo que más pasa por esta comisión son permisos para hacer pruebas. Muchos de los

transgénicos que han entrado, como ocurrió en el caso del maíz, no fueron aprobados realmente por la comisión, sino que están en el ambiente pro casualidad. En el caso de la papa transgénica con resistencia a virus sí ha sido aprobada.

7. ¿Qué opinión tiene usted respecto al etiquetado de los alimentos transgénicos?

Pienso que estos productos deben etiquetarse. El problema del etiquetado en nuestro país y en muchos otros es que como los transgénicos han pasado por una publicidad que los ha satanizado, entonces los consumidores que han estado al tanto de esta publicidad y vean una etiqueta que diga "producto transgénico", tal vez no lo van a comprar. Pero yo pienso que es una obligación de quien lo vende y un derecho de quien lo compra el saber qué es lo que está comiendo.

Entonces el reto es tratar de difundir el conocimiento y la información sobre lo que es un transgénico o una planta genéticamente modificada.

Lo que sí es cierto es que un alto porcentaje de la salsa de tomate que consumimos ya viene de tomate transgénico, y a la fecha, no ha ocurrido nada, esto es una evidencia de que nos son tóxicos. Esto la gente también tendría que saberlo.

Habría que pensar también si esta regla de etiquetado no va a ser aplicada a cualquier otro alimento ¿Por qué la gente no se asusta cuando consume un pan hecho de triticale, que realmente es un híbrido de dos especies diferentes? Y se ha comido con la mayor tranquilidad.

2. DR. JOSÉ LUIS SOLLEIRO REBOLLEDO CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (UNAM) DIRECTOR TÉCNICO DE AGROBIO MÉXICO

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo?

Sí, básicamente si contemplamos el concepto amplio de Biotecnología que es utilizar organismos vivos y sus partes en el desarrollo y producción de bienes y servicios que nos



sean útiles. Es un concepto amplio que no sólo se refiere a la Ingeniería Genética. La Ingeniería Genética es la herramienta más avanzada que tiene la Biotecnología hasta este momento y es muy útil, pero hay que verla en el contexto de un todo. Por supuesto que es estratégica ya que las áreas en las que se puede aplicar son múltiples y todas ellas de gran importancia: la salud, la producción agropecuaria, procesamiento de alimentos, procesamiento de productos industriales, para algunos países la recuperación de minerales, etc.

2. ¿Cree usted que los alimentos transgénicos, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene un país como México para lograr la seguridad en el abasto de alimentos?

No considero que debamos manejarlo como la mejor opción, sino como una de las herramientas que puede ser utilizada en un contexto más amplio de producción de alimentos. Si caemos en una generalización de este tipo, caemos en un error. Los únicos productos aprobados y disponibles en este momento para utilización comercial en México son la soya y el algodón, en este sentido, estaríamos pensando en una opción que se limita a dos cultivos. El problema agrícola de México para producir sus alimentos es bastante complejo, tenemos al menos tres grandes grupos de productores:

a. Grandes productores, tecnificados, con recursos financieros, con acceso a mercados nacionales y de exportación.

b. Productores en transición, como algunos autores los han llamado. Se llaman así porque surgieron con el modelo de desarrollo agrícola que impulsó Salinas de Gortari. Lo que se buscaba era convertir al agricultor en un empresario del campo. Pueden incluirse en este grupo a aquellos agricultores que tienen ciertos niveles de recursos tecnológicos, tierras con buena vocación, acceso al financiamiento, si bien más limitado que el grupo de los grandes productores.

c. Productor campesino: Malas tierras, no acceso al financiamiento, muy poca tecnificación. Son tres millones con sus familias (más de veinte millones de personas), este grupo no puede quedar fuera.

El gran reto es ofrecer opciones tecnológicas viables para los tres niveles. La Ingeniería Genética sí puede ser un muy valioso auxiliar para los tres niveles, entendida integralmente, ya que lleva no sólo a hacer alimentos transgénicos, puede llevar a la caracterización molecular de variedades para planificar el fitomejoramiento tradicional, inclusive. Hablando de alimentos, es importante contemplar que los alimentos transgénicos no sólo provienen de la agricultura, o sea, también se cuenta con los microorganismos modificados genéticamente que se utilizan en procesos microbianos para producir enzimas, para producir una serie de coadyuvantes de los procesos de transformación. Aquí hay una meta muy importante que ha estado exenta de debate, según Agustín López Munguía, más del 50 por ciento de los aditivos que se utilizan en este momento en la industria de alimentos vienen de procesos recombinantes. Yo no diría "es la opción", más bien diría "es una de las opciones que debe combinarse con otras herramientas tecnológicas para lograr, no sólo de manera eficiente sino de manera eficaz, la solución de problemas en todos los niveles". Es decir, integrar a los transgénicos dentro de la Ingeniería Genética en todo un contexto productivo que es tan complejo.

3. ¿Considera usted que en México se cuenta con la capacidad técnica y científica lo suficientemente madura para el desarrollo, la siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola?

Nuevamente, en contextos específicos. En el estado de Sinaloa, por ejemplo, la respuesta a esta pregunta es un contundente sí, el agricultor ya está completamente versado en la prueba de variedades, en realizar los controles propios de la Bioseguridad, está listo. El caso del algodón es muy representativo. Los productores que están



utilizando el algodón resistente a plagas lo están haciendo muy bien, siguen los lineamientos que dicta la Dirección General de Sanidad Vegetal (ahora SENASICA, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria), han integrado las semillas transgénicas dentro de un paquete de Manejo Integrado de Plagas (MIP). El transgénico es sólo una de las herramientas: es como una caja de herramientas en donde cada herramienta tiene su aplicación específica, cometiéndose un error si deliberadamente se deja una herramienta fuera, renunciar a piezas de tu herramienta es incorrecto. Una vez que se ha decidido usar cierta herramienta, usarla correctamente es entonces fundamental; es así como la experiencia del algodón ha sido bastante buena. La siembra de soya transgénica es un ejemplo también bastante interesante. Se está produciendo soya genéticamente modificada en Chiapas con productores del Soconusco. La rentabilidad de la soya convencional en este lugar es la obtención de \$1.16 por cada \$1.00 invertido; en cambio, con la soya transgénica se obtiene \$1.52 por cada \$1.00 invertido. Puede verse entonces que el aumento en la rentabilidad del cultivo es importante. Esto es así porque se tienen buenas condiciones de manejo, y no estamos hablando de Argentina o Estados Unidos, estamos hablando del Soconusco.

Esto es de acuerdo a cada situación en particular. Para otros productores, para otros cultivos, deberá hacerse un trabajo de preparación previa para garantizar resultados buenos.

4. ¿Cuál cree usted que ha sido la aportación de la comunidad científica mexicana en materia de Biotecnología?

La aportación científica ha sido fundamental. El aporte tecnológico ha sido hasta este momento más bien marginal. Existen cosas bastante interesantes que se han hecho que tienen un gran potencial, por ejemplo, las investigaciones que se hacen en CINVESTAV sobre genes tolerantes al aluminio, que pueden tener aplicaciones muy interesantes,

pero existen limitaciones de diversa índole. Ninguna institución académica está en condición de hacer las inversiones para llevar estas investigaciones a nivel comercial, se requiere entonces integrarse a un grupo empresarial nacional o extranjero que pueda invertir. Por supuesto que para lograr la puesta a punto de la tecnología todavía se requieren varias cosas. El departamento de Ingeniería Genética de CINVESTAV Irapuato es un departamento de servicios, es una especie de taller, al que los investigadores mandan materiales para que los modifiquen genéticamente. Entonces ese lado ya está dominado, pero falta toda la parte de la aplicación tecnológica a gran escala de la investigación.

Esto se debe, por un lado, a una falta de política de vinculación de las universidades e instituciones públicas con las empresas. No es un problema único de las universidades, falta un contexto favorable para la inversión como consecuencia del obstáculo de una regulación poco operativa. Las empresas se encuentran en un estado de incertidumbre, por lo que en muchas ocasiones no están interesadas en invertir.

La Biotecnología en México ha sido secuestrada por el maíz, nuestra comunidad científica por más que haga cosas interesantes en el laboratorio, no puede llevarlas a gran escala porque toda la discusión se encuentra atrapada.

5. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige en el país? Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

Por supuesto que existe una regulación en México, pero ¿funciona?. Se trata de una regulación poco operativa. Desgraciadamente en México el debate se ha calentado demasiado, lo que ha hipersensibilizado a los políticos. El político no quiere tomar una decisión respecto a los transgénicos, no toma una postura definida. La Biotecnología en



México ha sido secuestrada por el maíz (no niego su importancia), porque todos los enormes temores son por el maíz. Pero en lugar de hacer una regulación específica para el maíz, tratamos a toda la Biotecnología como si fuera el maíz transgénico en el centro de origen. Esto tiene trabado todo. Existen entonces los aventurados legisladores que proponen nuevas leyes. En una propuesta de ley que hicieron el Partido Verde Ecologista y el PAN, hay un artículo en el que se prohíben las terapias génicas en México, esto porque alguien pensando en el maíz transgénico, le sonó a peligro la terapia génica, cuando no tiene nada que ver una cosa con la otra.

Se está dando una paradoja, una de las discusiones es que la Biotecnología está controlada por las multinacionales, las patentes y demás; la regulación es tan estricta que finalmente se ponen cada vez más obstáculos de modo que son las mismas compañías multinacionales las únicas que podrán brincar dichos obstáculos. Le estamos dando entonces un mecanismo de barrera técnica que establece una reserva de mercado para las multinacionales. Esto genera incertidumbres para las empresas nacionales que pudieran invertir en Biotecnología. La regulación necesita ser previsible, en el sentido de que se especifiquen claramente los requisitos que deben cumplirse para ser aprobado tal o cual proyecto sin ningún obstáculo; esto permitiría al inversionista programar sus actividades proyectadas (pruebas de campo, aplicación a nivel comercial, etc.)

Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, en realidad, esta iniciativa de ley contempla muchas de las situaciones planteadas anteriormente, es decir, especifica procedimiento a seguir caso por caso, etc. Si es uno quisquilloso, podría afirmarse incluso que existe una sobre-regulación. Por ejemplo, en la última versión, para ir a pruebas de campo, es decir, para liberación al medio ambiente, se requiere un dictamen y autorización doble, SEMARNAT Y SAGARPA. El medio ambiente es importante, pero la

agenda y prioridades de las dos secretarías de gobierno son completamente diferentes. Entonces la probabilidad de que se quede trabada una solicitud en estas instancias es muy alta.

Existen aciertos, por ejemplo, dividir perfectamente los diferentes ámbitos de aplicación, como pueden ser la liberación al medio ambiente, la utilización confinada. Se da un tratamiento específico a los productos que contienen el organismo genéticamente modificado y un tratamiento diferente a los productos derivados del organismo genéticamente modificado. Así por ejemplo, una botella de aceite, es un producto derivado, y por lo tanto, debe tener un tratamiento diferente.

Por otro lado, se debió haber hecho una distinción entre aquellos organismos genéticamente modificados para los cuales se tiene ya una larga experiencia de evaluación y los que aún no, de tal modo que se acorten los tiempos en aquellos casos en los que se tiene una larga experiencia de evaluación, como sucede en el caso del algodón, de la soya o del tomate. Debe tomarse en cuenta que México cuenta con una importante experiencia en Bioseguridad, desde 1988 a la fecha, son quince años.

6. ¿Qué importancia cree usted que tenga el etiquetado de los alimentos transgénicos?

Creo que la etiqueta no es el mejor medio de información al consumidor. Cuando los productos son nutricionalmente equivalentes, no hay una razón para hacer una diferenciación en función del proceso. Si se empezara a seguir esta corriente que consiste en etiquetar en función al proceso de producción, se puede caer en una esquizofrenia de información. En este sentido, y cayendo en un extremo, que no me parece tan irreal, qué sucedería si se etiquetaran productos, que no son transgénicos, con leyendas como "estas lechugas pueden haber sido regadas con aguas negras"; o bien, "los espárragos de esta lata fueron regados con malatión para el control de la plaga..." El



consumidor entra entonces en un estado de alerta. Creo que lo más importante para el consumidor es que exista una garantía de inocuidad y de calidad, que se tenga la certeza de que existe una autoridad supervisando esa calidad, sin importar el proceso de elaboración. Tal vez sería mejor que las leyenda de la etiqueta de cualquier producto fuera "este producto ha sido aprobado en base a la Norma..." Existe ya, por ejemplo, la NOM 51 que hace referencia al contenido nutricional.

Existe otra corriente, que es seguir el modelo europeo que propone el etiquetado de los productos que contienen organismos genéticamente modificados, pero esto trae grandes complicaciones. ¿Cuál es la diferencia entre 1% y 0.9% de DNA recombinante? Es realmente mínima, pero la parafernalia logística que se necesita para hacer la detección de esos umbrales es tremenda, y más aún, en productos procesados.

La detección de transgénicos en cargamentos de maíz o de soya en las aduanas es un proceso aún más complicado, no sólo para un país como México, sino para todos los países en el mundo. Los cargamentos llegan en trenes con sesenta vagones por lo menos; en este caso, ¿cuál debe ser el protocolo de muestreo? Se requeriría el análisis de un lote por cada vagón, se tendrían que hacer pruebas para la detección de proteína, o bien, para la detección de DNA. Se tendría entonces que correr un PCR específico para cada evento genético. En este momento se tienen dos eventos genéticos, tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos, dentro de resistencia a insectos se pueden tener otros. Hasta el momento, se trata de dos eventos genéticos, pero ¿qué va a suceder cuando se tengan diez o quince eventos en el maíz, por ejemplo?. Esto implicaría hacer un gran número de análisis, lo que significaría tener el ferrocarril parado por un período de tiempo relativamente largo, en lo que se detecta si hay o no material transgénico. Todo esto tiene un costo. En el puerto de Altamira, en donde está la terminal de recepción de granos, se reciben cantidades monstruosas de maíz,

fácilmente podría cubrirse medio campo de football a lo largo con una altura de 25 m.

El detectar secuencias transgénicas es sumamente difícil, el problema se incrementará aún más cuando se trate de frutas y hortalizas también. Este problema no es exclusivo de México, es un problema real para todos los países. Por lo tanto, no considero viable la identificación de cargamentos.

7. Qué importancia tienen para la industria alimentaria los alimentos transgénicos o de productos obtenidos a partir de ellos (efectos positivos y negativos)?

Los beneficios que representa la Biotecnología para la industria alimentaria son muchos: la posibilidad de aumentar la eficiencia y eficacia de los procesos, aumento de la productividad, disminución de tiempos de producción. Como ejemplo están los trabajos de Agustín López Munguía con microorganismos hiperproductores, levaduras transformadas por Ingeniería Genética, etc. Se pueden generar productos con menor contenido de ácidos grasos saturados o productos con mayor contenido en aminoácidos.

Realmente no se puede hablar de efectos negativos para la industria alimentaria. Los efectos negativos recaen directamente en el consumidor que no está informado. Los organismos genéticamente modificados son seguros siempre y cuando hayan pasado por todas las pruebas requeridas. En este sentido, el papel del científico es trascendental, pues goza de gran credibilidad con el público, y tiene entonces la responsabilidad de proporcionar información objetiva, clara, con fundamento científico.



3. DR. VÍCTOR MANUEL TOLEDO MANZUR INSTITUTO DE ECOLOGÍA (UNAM)

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo?

En principio, claro que sí, aunque depende de la forma que tome la Biotecnología. Esta disciplina es como todo nuevo campo de la ciencia, habría que analizar detalladamente si la Biotecnología está contribuyendo realmente al desarrollo de los países.

Estos temas son muy polémicos, tienen que ser debatidos con muchísimo cuidado. Yo no creo en las posiciones extremas, es decir, no podemos negar el avance de la ciencia ni de la tecnología ni de la Biotecnología, sino que debemos hacer una crítica profunda y detallada a las modalidades que toma la investigación. Cualquier ciencia se puede usar para la guerra o para beneficio de la humanidad. Debe tenerse muchísimo cuidado, pues de pronto existen muchísimos intereses poderosos detrás de una investigación, no debe actuarse ingenuamente.

2. ¿Cree usted que los alimentos transgénicos, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene un país como México para lograr la seguridad en el abasto de alimentos? ¿Qué otras alternativas existen?

Yo no creo que los alimentos transgénicos sean una opción para lograr la seguridad alimentaria, sino lo contrario. La situación alimentaria es un fenómeno muy complejo como para pensar que una simple tecnología va a garantizar la seguridad alimentaria. La propuesta biotecnológica no es una solución porque no entiende la problemática que implica la producción de alimentos en el país. La obtención de alimentos implica factores de tipo agrario, productivo, tecnológico, social, etc. El incremento de la cantidad de

alimentos se puede realizar por otra vías diferentes a la Biotecnología, por ejemplo, a través de la mayor eficiencia del uso de la energía o bien, a través de técnicas agroecológicas. Deben superarse cuellos de botella actuales; por ejemplo, una gran parte de granos básicos, tales como maíz, trigo y sorgo, se utiliza como alimento para ganado en vez de que se consuma directamente la proteína vegetal. Esto sucede en Estados Unidos y algunos otros países desarrollados, en México ocurre lo mismo con la producción pesquera. La mayor parte de la producción pesquera en el país no la consumen los mexicanos sino el ganado, es decir, se pierde un paso en la eficiencia energética de la producción de alimentos. Lo mismo ocurre con las oleaginosas, con el sorgo o con el maíz. Si se reorientara el flujo de alimentos acortándose las cadenas, pienso que no sería necesario el uso de estas nuevas tecnologías. La mayor parte de la producción de alimentos en el mundo todavía se lleva a cabo a través de los sistemas tradicionales, los cuales se pueden convertir en sistemas agroecológicos de manera más expedita que los sistemas industrializados. En el caso de México, la producción de granos básicos mediante el uso correcto de los llamados "abonos verdes" puede incrementarse. Los abonos verdes son las leguminosas que permiten fijar nitrógeno en la milpa, en los cultivos de maíz. Esta práctica actualmente se lleva a cabo en los estados del sur y sureste del país y ha permitido incrementar los rendimientos del maíz sin necesidad de utilizar una tecnología sofisticada.

3. ¿Qué consecuencias podría traer la pérdida de cultivos tradicionales, así como los cambios en las modalidades de aprovechamiento de la tierra para las comunidades indígenas y campesinas en el país?



Las últimas evidencias que se tienen hasta el momento, incluyendo un artículo recientemente publicado de investigadores mexicanos y norteamericanos sobre el manejo del maíz, confirman que los campesinos mexicanos, sobre todo los del centro y sur (que son los que tienen un mayor bagaje cultural al ser los descendientes de las antiguas civilizaciones mesoamericanas), específicamente los hablantes de lengua indígena y algunos campesinos mestizos, practican la agricultura tradicional.

Esta idea de que se abrieron a la tecnología de las variedades mejoradas de maíz es relativo, depende de cada lugar. En general, en muchas comunidades y regiones se siguen manejando las variedades tradicionales de maíz y se están creando nuevas variedades a través de la mezcla que hacen los campesinos año con año.

En principio, no creo que haya una pérdida de cultivos tradicionales, tal vez esté sucediendo en algunos lugares del norte y centro del país, pero en general, no creo que sea sí.

Yo creo que la propuesta actual de Biotecnología en términos de alimentos transgénicos, va a tener una especie de expansión pero se detendrá en algún momento.

4. ¿Cuáles son los impactos en el medio ambiente que pudieran generarse con la liberación de cultivos transgénicos en el ambiente?

Son muy pocos los trabajos publicados al respecto, por lo que es difícil dar una respuesta detallada, sin embargo, pienso que no es sensato utilizar tecnologías de alto riesgo para el medio ambiente si existen otras alternativas para incrementar la producción de alimentos. Vivimos en un mundo bastante riesgoso, lleno de imprecisiones y sorpresas, como para seguir echando más leña al fuego. La tecnología para la producción de alimentos transgénicos implica un cierto riesgo. Aún cuando no se sabe a ciencia cierta qué es lo que está sucediendo, es una falacia pensar

que la biotecnología va a solucionar los problemas de alimentación y que por lo tanto, está justificado su uso sin importar el riesgo potencial que implique. Es importante considerar que el desarrollo biotecnológico está ligado a las grandes corporaciones, es decir, existe un interés económico que está por encima de la sobrevivencia y de la vida en el planeta.

5. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige en el país?

Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

Mi impresión del marco regulatorio es que todavía está demasiado laxo, deben hacerse aún muchas precisiones, por lo tanto, pienso que lo más prudentes es hacer que la propuesta de reglamentación circule entre la sociedad civil y grupos académicos antes de que se apruebe.

6. ¿Considera usted que en México se cuenta con la capacidad técnica y científica lo suficientemente madura para el desarrollo, siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola?

La brecha tecnológica entre países es impresionante. Por otro lado, es importante recordar que la investigación puede ser pública (centros de investigación estatales) o privada (laboratorios privados o corporaciones), y lo que hacen las grandes corporaciones privadas es que su investigación sea maquilada por investigadores obreros públicos, como parte de un proceso de megamonopolización a nivel mundial. Por lo tanto, yo creo que la brecha tecnológica se da no solamente entre los sectores públicos de los países, sino principalmente entre los sectores públicos y las corporaciones que están dominando esta tecnología.



4. ALEJANDRA BARRIOS

ANÁLISIS DE RIESGOS Y BIOSEGURIDAD CONABIO

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo?

La Biotecnología es importante, pero no es la única herramienta. No estoy de acuerdo con el discurso redentorista de que los transgénicos van a salvar al mundo. Es claro que son una buena herramienta y que pueden contribuir a solucionar muchos problemas, pero eso depende del tipo de desarrollo tecnológico del cual se esté tratando. Así pues, algunos desarrollos que existen a nivel mundial pueden ser muy buenos para la problemática europea o para la problemática norteamericana, y no necesariamente van a resolver problemas en México.

Es una herramienta valiosa que debe impulsarse, no debe detenerse la investigación científica al respecto, pero debe existir la conciencia de que no va a resolver todos los problemas. Existen problemas tales como la distribución de riqueza o la falta de alimentos que se pueden resolver de otro modo sin la necesidad de los alimentos transgénicos. Los alimentos transgénicos no son "el diablo" ni son la "panacea", simplemente son una buena herramienta de investigación como cualquier otra que ha desarrollado el ser humano.

2. ¿Cree usted que los alimentos transgénicos, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene un país como México para lograr la seguridad en el abasto de alimentos?

¿Existen otras alternativas?

Yo no estoy tan segura de esa hipótesis. Creo que la agricultura en México tiene muchas potencialidades que aún no se han explotado, tiene muchas tradiciones que pueden resolver mejor otros problemas que el uso de la

Biotecnología. En algunos casos, como lo son las zonas desérticas del norte del país en donde la tradición agrícola no es tan fuerte como en las zonas centrales y del sur, quizás los cultivos transgénicos sí puedan ayudar a resolver algún problema. Yo sería de la idea de que antes de impulsar de manera extensiva la siembra de OGMs, sería más importante rescatar algunas tradiciones en México, como el cultivo de la milpa, el rotocultivo. Rescatar los cultivos tradicionales que se están perdiendo es muy importante, esta pérdida no tiene que ver tan siquiera con el cultivo transgénico, sino con el hecho de que el campesino migra a las ciudades, o sencillamente con las grandes tiendas de autoservicio que venden, por ejemplo, jitomates más grandes, y dejan de vender las variedades autóctonas que tal vez sean más sabrosas y que nos gustan más a los mexicanos, pero que por accesibilidad están desplazando a las variedades tradicionales.

Yo creo entonces que hay otras opciones. El sector agrícola podría impulsar otras cosas. En el caso concreto del maíz, hay algunas variedades de criollos que podrían resolver muchos otros problemas. Si se desarrollara el cultivo extensivo de estas variedades sería una mejor opción que estar tratando de introducir híbridos o transgénicos.

Ahora bien, en el caso específico del algodón en la Comarca Lagunera, tengo entendido que sí ha ayudado. Este cultivo estaba ya perdido.

3. ¿Considera usted que en México se cuenta con la capacidad técnica y científica lo suficientemente madura para el desarrollo, la siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola?

Yo estoy convencida de eso. Si partimos desde la base de la investigación científica, existen desarrollos muy buenos que realmente resuelven problemas mexicanos, cabe citar al



Dr. Luis Herrera Estrella, o bien, los trabajos del INIFAP.

Yo creo que el principal problema en México es el conflicto de intereses en el sector económico. Este sector está muy vinculado con las grandes empresas o con intereses del comercio internacional.

Yo creo que si a la par se intenta el rescate de cultivos tradicionales y la resolución de algunos problemas específicos con desarrollos científicos biotecnológicos mexicanos pensados para problemas nacionales, la Biotecnología sería una buena estrategia para rescatar la agricultura mexicana.

En cuanto a personal en campo y monitoreo, quizás todavía hayan algunas dificultades, sobre todo porque muchas veces la gente en el campo no tiene ni la más remota idea de que es la Biotecnología.

Existe además el Proyecto de la Creación de la Capacidad (el proyecto GEF, Servicio Global para el Ambiente) el cual busca que llegue toda la información necesaria al sector (personal operativo) que es la interfase entre el campesino y el gobierno. Así, en caso de que se tenga que hacer un monitoreo en campo, el personal encargado tendrá las herramientas requeridas y un perfecto conocimiento de lo que se tiene que hacer y cómo se tiene que hacer.

Este proyecto nació como una respuesta a la necesidad de desarrollar capacidad en bioseguridad y es financiado por el GEF. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) lanzó una convocatoria para inscribir un proyecto en este ámbito, México inscribió su proyecto, fue aceptado y en el año 2002, comenzó a funcionar como un proyecto demostrativo a tres años (si funciona en México, se intentará implementar en otros países, considerando que México es un país megadiverso y que tiene una serie de acuerdos comerciales internacionales). En este proyecto, CONABIO participa desarrollando un sistema de información sobre OVMs que funcione para el análisis de riesgos. Además, en este mismo proyecto, se han contemplado cuatro cursos de capacitación básicos para delegados regionales de

SAGARPA y SEMARNAT que están directamente relacionados con la liberación de OGMs y que están en contacto directo con los campesinos (en los cursos se abarcan desde conceptos básicos hasta metodologías para detección de OGMs). Se contempla también la creación de dos laboratorios, uno en SEMARNAT y otro en SAGARPA, lo suficientemente equipados para la detección de OGMs. La Secretaría de Salud (SSA) no está dentro del proyecto.

Yo creo que México sí tiene las capacidades, está creciendo, pero tiene que crecer aún más para poder enfrentar situaciones de cultivo extensivo de transgénicos, como sucede en Argentina o en Estados Unidos.

En el caso específico de CONABIO, pienso que estamos preparados para llevar a cabo el análisis y manejo de riesgos. CONABIO es una instancia gubernamental que por invitación del SEA (Subcomité Especializado de Agricultura), se dedica al estudio y protección de la biodiversidad, para ello, lleva a cabo los análisis de riesgos caso por caso. Se trata de un análisis de riesgo precautorio, es decir, no se ve más allá del monitoreo, manejo y comunicación de riesgos. Con el análisis de riesgos, CONABIO emite una recomendación, pero cabe mencionar que dicha recomendación no es un documento oficial (como pudiera ser un permiso o un oficio de liberación). SAGARPA es la instancia gubernamental que toma la decisión final, por lo tanto, las decisiones de liberación no dependen de CONABIO.

CONABIO tiene bases de datos de las principales colecciones nacionales de herbarios (datos de colecta), y de cinco o seis colecciones internacionales. Cuando se pretende liberar algún cultivo transgénico, previamente se informa a la CONABIO la región donde se pretende liberar. Posteriormente se hace una búsqueda de información donde se indican datos de localización del cultivo específico y sus parientes silvestres. Entonces se hace un mapeo o mapas de ocurrencia real y se corre un algoritmo predictivo (algoritmo matemático) en donde con todos estos datos



reales se puede predecir en qué regiones del país pudieran existir zonas de similitud ecológica en donde se pudiera dar la especie de la cual se trate. De este manera, se sobrepone al mapa predictivo el mapa donde se indican las zonas donde los interesados pretenden liberar algún cultivo transgénicos. En caso de que la zona de liberación se encuentre cerca (1 ó 2 kilómetros) de una zona potencial donde pueda existir la especie, CONABIO recomienda que no se libere. Ahora bien, CONABIO tiene tres tipos de recomendaciones: sí, no y condicional. En el caso de que la recomendación sea "no", puede deberse a que la liberación de un transgénico en dicha zona podría poner en peligro a los parientes silvestres del cultivo específico o a la especie transformada. Si la recomendación es "sí condicional", fundamentada a partir de información técnica y científica sobre flujo génico, potencial de hibridación, etc., se recomienda que se tomen ciertas medidas de bioseguridad más estrictas que las normalmente requeridas. Se les recomienda también que presenten un reporte de ocurrencia de parientes silvestres. Generalmente un "sí condicional" se resuelve cuando la zona en donde se pretende liberar el transgénico está dentro de la zona de similitud ecológica para una sola especie o cae en límites cercanos pero no en el punto de colecta. Cuando CONABIO recomienda "sí" es porque la liberación se lleva a cabo en una zona donde no existe ningún riesgo ni para la especie sin transformar ni para sus parientes silvestres.

Es importante recalcar que hasta el momento CONABIO no contempla especies no blanco, como pueden ser los insectos o posibles animales que puedan alimentarse del OGMs. Esto es de la competencia de SEMARNAT y del INE. Sin embargo, se está contemplando en el Subcomité Especializado del Medio Ambiente (SEMA) un análisis de riesgo que contemplará las cadenas trópicas, suelo, agua, etc.

Se puede decir que el análisis de riesgo que hace CONABIO es en México el único que existe. Se tiene la experiencia de trabajo con

el SEA desde el año 2000, por lo que dicho análisis de riesgo está ya muy probado y trabajado, ofrece buenos niveles de protección.

El grupo que lleva el análisis de riesgos en la CONABIO está conformado por tres personas: Francisca Acevedo (con formación en Biología Molecular), Susana Gama (con formación en Taxonomía) y Alejandra Barrios (con formación en Química y Biotecnología). Este nuevo grupo que trabaja desde noviembre del 2002 a la fecha, se ha preocupado por integrar otros elementos en el análisis de riesgos como el considerar que no se vean afectados los agricultores de la zona, como pudieran ser agricultores orgánicos.

SAGARPA está trabajando en el desarrollo de un análisis de riesgos enfocado a la protección de las variedades no transformadas, a lo que se ha llamado "Agrobiodiversidad", como el jitomate o la calabaza.

La Secretaría de Salud hace estudios de toxicidad y evalúa aquellos productos que ya se siembran de manera precomercial y que van a dar a la cadena alimentaria.

Me atrevo a decir que el análisis de riesgos que hace la CONABIO puede compararse con los que se hacen en países europeos con gran experiencia. Es un análisis de riesgos que está a nivel de punta, la tecnología que se usa, como lo son los algoritmos predictivos, es de lo más nuevo que hay. Definitivamente el análisis de riesgos que se hace en el país se ha basado en los modelos que se han hecho ya en otros países, con la diferencia de que México es un país megadiverso. Esto proporciona un elemento muy particular a los análisis de riesgos.

4. ¿Cree usted que es viable la posibilidad de liberar OGMs, bajo ciertas circunstancias, en los centros de origen y diversidad genética y las áreas naturales protegidas?

Si a partir del análisis costo-beneficio, el beneficio para la población dentro de la zona va a ser mayor que el riesgo que se pudiera presentar por el flujo génico, CONABIO recomienda la liberación, lógicamente, bajo



estrictas medidas de bioseguridad y siempre y cuando se lleve el monitoreo y manejo de riesgos. Así por ejemplo, si se tratara de un maíz pensado en las necesidades nutricionales del mexicano o que resolviese un problema severo de sequía, CONABIO cree que vale la pena correr ese riesgo. Por otro lado, la liberación pudiese ser temporal mientras se resuelve un problema específico. En tal caso, el riesgo es menor, pues muchos ecólogos sugieren que un gen que no se utiliza constantemente se pierde a la larga.

Los OGMs no solamente son plantas. Se puede contemplar para la biorremediación en un área natural protegida la liberación de organismos transgénicos, los cuales deberán estar diseñados para no sobrevivir una vez que han cumplido su función. Esto es útil en casos como un derrame de un compuesto perjudicial.

5. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige el país? Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

Lo único que existe formalmente es la NOM 056. Sin embargo, esta norma sólo es aplicable para liberaciones experimentales. Liberaciones más allá de 10, 20, 30 hectáreas pueden considerarse como precomerciales, tal es el caso del algodón (2000 ó 3000 hectáreas), por lo que la herramienta legal con la que se cuenta al momento, la NOM 056, no es suficiente. Esta norma no contempla superficies, lo que ha generado que las empresas liberen grandes extensiones de OGMs. Lo que ha hecho SAGARPA es pedir a las empresas que etiqueten el campo como experimental aunque se trate de 10 000 hectáreas.

En cuanto a la ley de Bioseguridad, existen elementos importantes que no contempla y que debieran contemplarse, tales como los requerimientos para los análisis de riesgo, las condiciones de monitoreo o las superficies a liberar (no indica cuándo es una siembra

experimental, cuándo es una siembra comercial, etc.). Muchas cuestiones se remiten a normas, entonces si no se tienen dichas normas, la ley de Bioseguridad no va a ayudar en mucho.

La ley de Bioseguridad definitivamente no es la panacea para resolver los problemas de un país megadiverso como México.

CONABIO está consciente de que dicha ley tiene muchas flaquezas; desde el punto de vista ambiental, contempla lo mínimo y cubre en lo mínimo los requisitos del Protocolo de Cartagena.

6. ¿Qué consecuencias trae la entrada en vigor del Protocolo de Cartagena el día 11 de septiembre de 2003?

Este acuerdo indica que cualquier país puede proteger su biodiversidad más de lo que el Protocolo recomienda. Desde este punto de vista, pensando en el sector ambiental, para la CONABIO esto es lo ideal, considerando el análisis caso por caso, el acuerdo fundamentado previo (AFP), el principio precautorio, etc. Para México no implica ningún problema la entrada en vigor del Protocolo de Cartagena pues el país se ha ido capacitando para ello.

Se ha dicho que el Protocolo puede representar un problema para los países exportadores, sin embargo, México no exporta OGMs. Los OGMs que se producen son para el interior del país, para autoconsumo, por lo tanto, esto no representa problema alguno.

Sin embargo, el Protocolo puede contravenir algunos puntos de acuerdos comerciales, lo que puede dar lugar a barreras no arancelarias ante la OMC. Ese es el problema, cómo se van a tratar los problemas de interés comercial ante el TLCAN y la OMC. El principal punto de discusión es el artículo 18IIa del Protocolo, según el cual es suficiente que se notifique únicamente que un cargamento puede llegar a contener OGMs. Este es uno de los principales puntos que tienen que resolverse. Seguramente Estados Unidos va a presionar bastante para que México acepte una notificación de este tipo en un cargamento o nada. De hecho, el



secretario de Economía de México ya ha dicho que el Protocolo representa un severo problema para el comercio internacional.

Ahora bien, un tratado internacional ratificado como lo es el Protocolo de Bioseguridad, es ley nacional, por lo que el día 11 de septiembre que entró en vigor el Protocolo, éste pasó a ser ley nacional.

7. ¿Cuál es la tendencia generalizada en el proceso de aprobación de cultivos transgénicos en México?

Actualmente el principal cultivo es el algodón, se lleva la mayor parte tanto de liberaciones como de hectáreas.

Según el Secretario de Agricultura, desde 1988 a la fecha, son 247 solicitudes aprobadas, 25 especies evaluadas y 42 fenotipos diferentes. Cabe recalcar que para CONABIO la liberación es caso por caso, por lo que muchas veces lo que es una solicitud única para SAGARPA, son realmente tres solicitudes para CONABIO. La información proporcionada por SAGARPA es un tanto confusa, y por lo tanto, es difícil de analizar.

Por otro lado, CONABIO ha dicho que "no" en más ocasiones en que las que SAGARPA ha autorizado. Esto indica un problema de comunicación, pues aunque CONABIO recomienda que "no", SAGARPA dice que "sí". El procedimiento de aprobación es el siguiente: El solicitante paga en Tesorería aproximadamente 2500 - 2700 pesos por solicitud, llega a la ventanilla de SAGARPA y entrega su solicitud con la información que se solicita en la NOM 056. SAGARPA le pone fecha de entrega a la solicitud, le asigna un número y la turna al SEA. En este Subcomité existe personal especializado y se apoya de CONABIO para el análisis de riesgos. CONABIO emite una recomendación con un oficio legal firmado por la Directora Técnica de Análisis de Seguridad, la Dra. Laura Arriaga, el cual es enviado a SAGARPA, a SENASICA directamente. Esta instancia recopila las recomendaciones hechas por el personal especializado del SEA y la recomendación de la CONABIO. Posteriormente emite un certificado de liberación al medio ambiente.

En teoría, este procedimiento no debería durar más allá de tres meses, sin embargo, siempre hay retrasos. Esto ha generado que SAGARPA haya emitido certificados de liberación cuando CONABIO aún no ha emitido la recomendación correspondiente.

El análisis de riesgos que hace CONABIO, como ya se ha dicho, es caso por caso, en algunas ocasiones es muy rápido, por ejemplo, para cultivos como algodón, pues ya se tienen los mapas por la experiencia en este cultivo. Sin embargo, cuando se presenta una solicitud nueva, de una especie que nunca se ha evaluado, el proceso es más complicado, pues se parte desde la generación del mapa de ocurrencia real y el mapa predictivo, y por supuesto, la recopilación de información científica que existe sobre flujo génico, hibridación, etc. Este tipo de análisis puede tardar hasta un mes.

8. ¿Cuáles fueron las causas de la contaminación genética y cómo pueden prevenirse este tipo de incidentes?

Es un problema multifactorial y difícilmente puede hablarse de responsables, es por ello que no me gusta utilizar el término de "contaminación genética". Sin embargo, es criticable la actitud del gobierno por no haber sido más enfático en exigir la identificación de los granos de importación. En este sentido, podría decirse que el principal problema fue el grano no segregado. Mucho fue también el sistema agrícola mexicano, sin embargo, no se puede culpar a los campesinos por sus tradiciones de más de 2000 años de intercambio de granos y la costumbre de guardar semillas. Los campesinos prueban con las semillas que les proporciona Diconsa, y si lo que proporciona Diconsa viene de las 100 millones de toneladas que se importan de Estados Unidos de las cuales el 30 por ciento son transgénicos, pudo haber sido ésta la causa. Se ha hablado también del "contrabando hormiga", es decir, de los campesinos que se van a Estados Unidos a la "pizca" y regresan con granos que prueban en el país.



La tradición milenaria del campesino en México es experimentar, en este sentido, el gobierno debe "educar a la población", informar e impulsar que debe preservarse la siembra de criollos, de granos que se conoce perfectamente bien de donde proceden. Debe promoverse una cultura de conservación de la biodiversidad y se le debe explicar al sector rural, las posibles consecuencias de la siembra de transgénicos, lógicamente, sin satanizar a los OGMs.

Por otro lado, son muy pocos los estudios que se han llevado a cabo sobre las consecuencias de la presencia de transgenes en el maíz criollo (sobre flujo génico, etc.).

El problema es que el gobierno mexicano no ha tomado una postura definida al respecto, no ha habido un programa emergente y sólo se ha generado confusión. Es necesario que a dos años de los acontecimientos, el gobierno defina su postura y la haga llegar a la población. De no hacerlo se pueden tener consecuencias negativas en el campo mexicano.

Yo veo que la solución real a este problema es exigir que los cargamentos de transgénicos se identifiquen y que sea muy claro el destino de esos granos, por ejemplo, hacia la producción de almidón, jarabe de fructuosa, etc.

9. ¿Qué están haciendo el gobierno, y específicamente la CONABIO, para evitar la utilización saqueo por parte de empresas extranjeras de la biodiversidad del país para la generación de productos que posteriormente se regresen como productos de importación?

Existe la Ley de Acceso a Recursos Genéticos en la que se plantea que los genes sean de quienes los han cuidado. CONABIO tiene un grupo de trabajo muy sólido de "Recursos Colectivos" dirigido por el biólogo Jorge Larson. A través de este grupo se busca proteger las especies que han cuidado las comunidades a través de patentes y de denominaciones de origen. CONABIO recomienda que las colectas científicas se lleven a cabo bajo lineamientos específicos, y para ello, se otorgan permisos. Es muy

importante impulsar los estudios al interior del país acerca de los recursos biológicos para evitar su depredación por parte del extranjero. El problema de la CONABIO es que en gran medida implica cuestiones únicamente de tipo precautorio. Cabe mencionar el caso de la reivindicación de la patente de DuPont del maíz de ácido oleico que se logró gracias al rescate de una tesis en Chapingo a partir de la cual se demostró que la patente de DuPont estaba contraviniendo criollos nacionales.

Sería importante apoyar a ONGs que trabajan directamente con las comunidades y con el desarrollo de productos de alto valor agregado.

Es importante que el gobierno haga un análisis de riesgos, pero es importante, que el análisis de riesgos lo haga en primera instancia la empresa interesada, tal y como sucede en Inglaterra, y lógicamente, los gastos tienen que correr por parte del interesado. La empresa interesada tendría que acceder a un consultor especializado, o bien, pagarle al gobierno para que haga el análisis de riesgos. Un análisis de riesgos en Inglaterra se cobra aproximadamente entre 200 000 - 500 000 pesos mexicanos. En la CONABIO no se cobra absolutamente nada, sólo se considera el cobro que se hace en la Tesorería por emitir el certificado de liberación.

En este sentido, es sumamente importante el desarrollo de consultorías para el análisis de riesgos.

Es decir, se tendría que considerar el análisis de riesgos que presente la empresa, ya sea que se lleve a cabo por ella misma, por encargo a una consultoría o al mismo gobierno, y a su vez, se debe considerar un análisis de riesgos efectuado por instancias gubernamentales que permita analizar el análisis de riesgos presentado por la empresa.

10. ¿Cuál es su opinión sobre el etiquetado?

El etiquetado de los alimentos transgénicos no tiene caso si lo que se escribe en la etiqueta no es información clara, verídica, accesible y suficiente; si la gente no tiene idea acerca de



conceptos relacionados con Biotecnología y con OGMs. De este modo, si la etiqueta no es la adecuada, lejos de ayudar, generaría miedo.

Por otro lado, la experiencia que se tiene es que el consumidor pocas veces lee y analiza la etiqueta. Sin embargo, es un derecho que tiene el consumidor.

En lo que se refiere a la identificación de granos a granel, esto es elemental. Tal vez no sea posible la segregación, pero sí la identificación. Yo no creo que esto sea tan difícil. La agricultura en México es muy diferente a la que se practica en Canadá o en Estados Unidos. En Estados Unidos se sabe muy bien qué es lo que se siembra cada temporada, por lo que perfectamente se

podría indicar qué cargamentos pudieran contener transgénicos y en qué proporciones. Ante una notificación de esta índole, las instancias gubernamentales tomarán las medidas de bioseguridad necesarias.

Sin embargo, países como Estados Unidos, argumentan que la identificación de granos a granel genera que el precio se pueda elevar hasta un 40 por ciento en caso de que se solicite que se segregue o etiquete un cargamento. En contraparte, se han hecho estudios que pretenden demostrar que el costo real de algún posible incidente en la salud humana o en el medio ambiente por el ingreso de un cargamento no identificado pudiera ser mayor que el incremento del 40 por ciento.

5. DRA. AMANDA GÁLVEZ MARISCAL
COORDINADORA DEL CONSEJO CONSULTIVO DE BIOSEGURIDAD
CIBIOGEM

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo?

Dependiendo de las políticas de cada país, la Biotecnología puede ser o no ser una herramienta estratégica. En México, esto depende de que se considere a la Biotecnología como una posible estrategia. Algo que sí es un hecho es que la Biotecnología es una herramienta muy moderna e importante que puede lograr rápidamente cambios útiles que antes implicaban mucho tiempo y trabajo. La Biotecnología es una herramienta poderosa, por lo tanto, podría considerarse como estratégica, pero el hecho de que sea estratégica o no para un país no depende propiamente del poder de la Biotecnología sino de las políticas de cada país. En México no existe una estrategia nacional ni una política en torno a la Biotecnología, por lo que sólo puede considerarse una herramienta como cualquier otra.

2. ¿Considera usted que en México se cuenta con la capacidad técnica y científica lo suficientemente madura para el desarrollo, la siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola?

¿Cree usted que México pueda competir con otras naciones en la generación y exportación de Biotecnología Moderna y de productos terminados de alto valor agregado de origen biotecnológico?

La siembra y comercialización de transgénicos ya se lleva a cabo en México, el problema es que no son desarrollados en el país. En este sentido, aunque México no tuviese ningún desarrollo en Biotecnología, siembra y comercializa transgénicos. La Biotecnología en México tendría que estarse aplicando a la producción de los "desiertos transgénicos" que se pudieran sembrar en México. En México se tiene capacidad para hacer investigación, pero el que el país tenga una capacidad importante en Biotecnología no quiere decir que con ello automáticamente se lleve a cabo la siembra y producción de transgénicos



comerciales mexicanos. Esto último tiene que ver más con las políticas de gobierno y la estrategia nacional referente a la promoción de desarrollos mexicanos, la cual es inexistente en la actualidad.

3. ¿Cree usted que los alimentos transgénicos, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene un país como México para lograr la seguridad en el abasto de alimentos?

Los transgénicos sólo son una nueva forma de fitomejoramiento, en realidad, son un producto más en el mercado. No son absolutamente necesarios, lo que hace falta realmente para lograr la seguridad alimentaria es una mejor distribución de los productos que normalmente se manejan en el país. Los alimentos transgénicos no han significado hasta ahora una ventaja para el logro de una mejor alimentación en el país, mucho menos considerando que aún no se producen los transgénicos que realmente pudieran hacer una diferencia en aspectos nutricionales, por ejemplo. Sencillamente, la gente pobre que no tiene acceso a los alimentos, ya sean transgénicos o no, permanecerá en esta misma situación mientras no exista una mejor distribución de los alimentos que normalmente se producen en el país.

4. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige en el país?

Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

El marco regulatorio se ha manejado a través de iniciativas de ley de Bioseguridad muy generales, "leyes macro". El problema es que debido a que la discusión está muy politizada, ninguna de las iniciativas de ley ha logrado un consenso importante, muchas de ellas aún se discuten en el Congreso. La iniciativa de ley más reciente, la de la Academia Mexicana de

Ciencias, probablemente es una de las más evolucionadas pues ya se ha aprendido y se tiene experiencia al respecto de la Bioseguridad.

Sin embargo, esto no quiere decir que al no existir una ley como tal, no existan cortapises ni reglamentos en el país, de hecho, sí existen, cada autoridad competente tiene que ejercer sus propias legislaciones. Solamente la SAGARPA tiene normas claras y transparentes al respecto y están funcionando desde hace ya algunos años.

Ahora bien, SAGARPA junto con SEMARNAT tienen ya lista una norma para regular la comercialización de cultivos transgénicos a nivel piloto, o bien, a nivel precomercial. Esta norma es importante pues permitiría ofrecer una certeza al público en cuanto a la seguridad de los cultivos comerciales. Sin embargo, esta norma se encuentra hace más de un año atorada en los jurídicos, a pesar de que se ha logrado una adecuada comunicación entre las instancias o autoridades competentes.

SEMARNAT y SSA no tienen normas, aunque sí tienen comités de Bioseguridad, sin embargo, no trabajan tan abiertamente como la SAGARPA que sí tiene un Subcomité Especializado de Agricultura (SEA) que se encarga de hacer evaluaciones de riesgo.

En general, hace falta más transparencia y apertura.

5. ¿Cree usted que la iniciativa de ley recientemente aprobada por el senado y el anteproyecto NOM-FITO/ECOL-2001 pueden garantizar una seguridad tanto en la salud de los consumidores como en la conservación del medio ambiente?

No. Yo creo que faltan normas más claras para el medio ambiente y para el sector salud. Sobre todo en lo que se refiere al sector salud, pues actualmente existen desarrollos nuevos de transgénicos en Estados Unidos que no se han manejado apropiadamente. Me refiero a ciertas sustancias expresadas en el maíz destinadas a uso industrial y farmacéutico, de hecho, ya se han presentado dos eventos importantes de escape de genes de la



compañía Prodigy. Si ésto sucediera en el país, no podría detenerse a menos que estuvieran "a punto" las técnicas y las metodologías apropiadas.

6. ¿Cree usted que la iniciativa de ley en Bioseguridad recientemente aprobada por el Senado y el anteproyecto NOM-FITO/ECOL-2001 se adecuan a los lineamientos del Protocolo de Cartagena?

El Protocolo de Cartagena es una ley internacional para el movimiento transfronterizo de OVMs y deja muchas cuestiones en manos de la legislación nacional. Con respecto a la liberación de plantas al medio ambiente, México está en cumplimiento con el Protocolo de Cartagena. En cuestión de salud, el Protocolo no menciona nada al respecto, pues únicamente se refiere a cuestiones de índole ambiental, por lo tanto, las cuestiones relacionadas con los posibles efectos de los transgénicos en la salud humana son responsabilidad nacional. Por lo tanto, hace falta una norma nacional clara y transparente al respecto. La SSA tiene una página en Internet donde se desglosan todas las variedades de importación de transgénicos que han sido aprobadas por la Secretaría, aunque no se mencionan cuáles han sido los mecanismos de aprobación. El mismo Protocolo de Cartagena indica que a más tardar de dos años todas estas cuestiones deben ser más claras, por lo tanto, México debe trabajar bastante.

7. ¿Cree usted que el documento recién firmado con Estaos Unidos y Canadá ("Requisitos para la documentación de organismos vivos modificados para alimento humano o animal o para procesamiento") cumple con las disposiciones del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad?

El documento firmado es una "arreglo" y de ninguna forma se trata de un acuerdo, por lo tanto, no fue necesario que pasara por el Senado. Este arreglo debe ser "flexible",

susceptible de modificarse en cualquier momento que sea necesario. Hasta el momento, el Protocolo de Cartagena sólo indica la leyenda en los cargamentos de "pudiera contener...", de esta manera, en el momento en se tome alguna decisión en lo que se refiere a los porcentajes de transgénicos en cargamentos, por ejemplo, tendrían que hacerse las modificaciones pertinentes en el arreglo.

Este arreglo atiende justamente al artículo 18, párrafo 2, artículo A del Protocolo de Cartagena, así como al artículo 12, los cuales indican que "las partes" y "no partes" del Protocolo que tengan un "arreglo comercial" deberán hacerlo dentro de los mecanismos del Protocolo. Entonces, justamente para atender a las necesidades del Protocolo, se ha firmado este arreglo comercial, como una forma de "obligar" a Estados Unidos y Canadá, que son países "no partes", a cooperar con información e intercambio científico con México que es un país "parte". Se está negociando todavía un anexo técnico mediante el cual se van a puntualizar cuáles son las necesidades de intercambio de información, de tecnología, e incluso, de científicos entre los tres países que han firmado el arreglo, de tal manera que México esté al mismo nivel que sus socios comerciales en términos de vigilancia, de monitoreo de transgénicos, etc.

La información al respecto se puede encontrar en la página electrónica de CIBIOGEM.

8. Como coordinadora del Consejo Consultivo de Bioseguridad de la CIBIOGEM, ¿cuál es su postura ante el levantamiento de la moratoria a la siembra de maíz transgénico?

Esta moratoria a la siembra de maíz transgénico se arrancó en 1998 ante la incertidumbre de los posibles impactos del maíz transgénico en México. Sin embargo, la respuesta de las instituciones gubernamentales no fue la esperada, que hubiera sido que se hicieran los experimentos necesarios y que se resolvieran de manera científica una serie de dudas para



posteriormente sacar a la luz los resultados obtenidos. A más de cinco años, esto no sucedió y en realidad, lo que debe hacerse ahora, es hacer los estudios necesarios para resolver las dudas que se tienen. Estos estudios no se van a poder llevar a cabo si no se levanta de alguna manera la moratoria. Ahora bien, lo que dicen los medios de comunicación es que la moratoria se levantó unilateralmente, lo cual no es así. El SEA ha hablado muy claramente con la CIBIOGEM y se ha mencionado que la moratoria no se puede levantar sin ninguna precaución, sino que es necesario definir una serie de cuidados y manejos especiales para el maíz en México. De este modo, las solicitudes que se tienen hasta el momento no se van a actualizar hasta que no se definan claramente las reglas necesarias. Por lo tanto, mientras no se definan estas reglas, no se llevará a cabo ningún experimento aunque ya se ha levantado la moratoria a la siembra de maíz transgénico.

9. ¿Cuál es su opinión al respecto de los resultados de estudios independientes (recientemente divulgados por algunas ONGs y comunidades campesinas) que notifican la presencia de transgenes en varios estados del país?

El Consejo Consultivo de la CIBIOGEM acaba de recibir de manera oficial a finales del año 2003, el reporte de un grupo *ad hoc* que trabajó para la SAGARPA y para la CIBIOGEM. Los resultados no se pueden manejar al público puesto que se trata de información técnica interna, sin embargo, dichos estudios corroboran la presencia de los transgénicos en porcentajes pequeños, menores de los que se pensaba. Este grupo está trabajando para hacer una labor de información al agricultor para que no siembre semillas importadas como las que vienen en los cargamentos de granos a granel que no son para siembra.

En cuanto a los estudios independientes que se han divulgado sería necesario que se sometieran sus resultados técnicos y científicos a la evaluación de algún Cuerpo Colegiado como podría ser el Consejo Consultivo de la CIBIOGEM. No se tiene ningún registro sobre cuáles fueron los experimentos realizados, cuáles fueron los controles, cuál fue el tamaño de la muestra y la forma de muestreo, cuáles fueron los sitios muestreados, qué primers se utilizaron, cuáles fueron los resultados de las PCRs, cuál es la marca de los kits utilizados, etc. Por lo tanto, no puedo juzgar este estudio pues carezco de la información metodológica necesaria, a diferencia del grupo *ad hoc* que entregó su reporte con toda la información necesaria

**6. LIZA COVANTES TORRES
COORDINADORA DE LA CAMPAÑA DE INGENIERÍA GENÉTICA
GREENPEACE MÉXICO**

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo?

La Biotecnología sí es una herramienta que puede ayudar a muchas áreas y a muchos sectores a desarrollarse, claro que para ello se requiere de fuertes inversiones, pues implica capacitación de gente y el uso de equipo especial que no es barato. Aunque si bien es cierto, hay Biotecnología que es realmente

accesible, sobre todo, mucha de la Biotecnología tradicional (como son las fermentaciones) que podría ser ocupada por México en diversos sectores.

2. ¿Cree usted que los cultivos transgénicos destinados para consumo alimentario, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene México para lograr la



seguridad en el abasto de alimentos? ¿Existen otras alternativas?

No, porque en este momento los cultivos transgénicos que están en el mercado no tienen nada que ver con el aumento de la producción. No rinden más, sino que son para resistir un herbicida que vende la misma compañía que crea el cultivo transgénico, o bien, son resistentes a un insecto para que supuestamente se utilice menos insecticida, pero no para que rinda más. Si se tiene una fuerte plaga del insecto para el que fue diseñado el cultivo transgénico, sólo puede tenerse un aumento del 5 al 15 por ciento, lo cual es nada. Sin embargo, hay otras alternativas para aumentar la producción, existe investigación nacional con mejoramiento de maíces nativos o generación de híbridos, manejo de suelos, cambios en algunas prácticas culturales agrícolas que permiten generar 200, 300, 400 y hasta 500 por ciento de aumento en el rendimiento.

Entonces si los transgénicos que están en el mercado en este momento no son para aumentar la producción, mucho menos son para pensar en que más gente va a tener alimento. El problema de la falta de alimentos es un problema económico de distribución de la riqueza.

Por otro lado, se maneja que con los transgénicos habrá suficiente alimento para todos, y además, más barato. Esto no es cierto. En primer lugar, existe suficiente alimento producido en este momento, pero la gente no tiene acceso. En segundo lugar, los productos transgénicos son más caros, la semilla es más cara y se deben pagar más regalías, todo lo que implica que al final se tiene un producto que es más caro.

3. ¿Considera usted que México cuenta con la capacidad técnica y científica lo suficientemente madura para el desarrollo, siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola?

No. En México no existe esa capacidad. México recibe demasiadas solicitudes que la SAGARPA, hasta hace un par de meses, tenía sólo una persona para revisarlas. Ahora, al

firmar el Protocolo de Cartagena, México tuvo acceso a recursos internacionales para capacitar a la gente de medio ambiente de la SAGARPA. Se ha tenido acceso a dinero de un organismo internacional que da recursos para el fortalecimiento de la capacidad en términos de Bioseguridad, para el manejo seguro de transgénicos. Ese dinero se ha obtenido precisamente porque no existe la capacidad en el país. Sin embargo, sí existe, aunque muy limitada, una capacidad técnica agrícola que a pesar de que se trabaja casi sin recursos económicos, se están generando opciones para distintos cultivos en distintas zonas del país. Estos esfuerzos son los que deberían fortalecerse en lugar de pensar cuánto dinero tiene que invertirse para asegurar que un transgénico que no va a aumentar la producción de alimento, no cause daños. Por qué preocuparse cómo protegernos de un posible daño si se pueden desarrollar cosas que no van a causar daños.

4. Qué impactos sociales y/o económicos pueden generarse con la producción de alimentos transgénicos, en México específicamente?

- a. Impactos en los consumidores en general
- b. Impactos en las comunidades campesinas
- c. Impactos en las comunidades indígenas

Las consecuencias económicas son fuertes porque los transgénicos están relacionados con la propiedad intelectual asociada, es decir, se trata de tecnología en una semilla que implica mayores costos del material y además, un pago de la regalía por la propiedad intelectual asociada; el acceso obviamente es difícil para la mayor parte de los campesinos e indígenas. Pero además, las empresas afirman que éstos no son sus productores objetivo, sino los productores que tienen más recursos y que pueden pagarlo. El problema es entonces que si hay grandes productores que pueden pagarlo, los efectos ambientales y económicos con motivo del uso indebido de un transgene patentado se pueden presentar en



las comunidades de campesinas, se pueden ver afectados sus cultivos, causando un perjuicio en las comunidades de pequeños productores, aunque ellos no hayan sido el blanco de las grandes compañías biotecnológicas. Es decir, aún cuando las comunidades campesinas no cultiven transgénicos, pueden sentir las consecuencias de los efectos ambientales y de los efectos económicos que implica el uso de estas tecnologías. El ambiente lo compartimos todos, por lo tanto, las comunidades campesinas como las indígenas, así como los consumidores, todos podemos vernos afectados.

Estados Unidos produce en este momento muchos transgénicos, pero tiene una ley de apoyo y subsidio a la agricultura enorme, con la cual están quebrando las economías agrícolas de la mayor parte de los países pobres. Ellos imponen entonces un producto, supuestamente de menor costo en términos de producción, cuando en realidad, hay mucho dinero puesto por parte del gobierno, los productos se venden entonces por debajo del costo de producción. Es decir, al productor estadounidense su gobierno le proporciona cierta cantidad de dinero para que lo venda más barato, pero esto es sólo una estrategia para quebrar las economías de los otros países. De este modo, una vez que se ha quebrado el sistema agrícola de un país, es posible imponer cualquier producto en el mercado a cualquier precio.

Al final de cuentas, al consumidor no le llega más barato el producto.

En este momento hay un exceso de alimentos supuestamente a más bajo precio. Pero este más bajo precio es artificial y no sabemos cuánto tiempo vaya a durar. Además, debemos considerar que los alimentos baratos no son los más sanos. Esto debe preocuparnos como consumidores ya que puede haber una afectación de salud, y obviamente, una afectación económica a mediano y largo plazo cuando existe el control del precio del producto y no hay competencia.

5. ¿Cuáles son los posibles riesgos de los cultivos transgénicos en el medio ambiente y en la salud? ¿Qué estudios se han hecho al respecto?

En términos ambientales, algunas de las preocupaciones es el desarrollo más rápido de resistencia de insectos pues las plantas transgénicas están produciendo la toxina en todo momento, lo que significa un factor constante de presión para la población de insectos y su mecanismo de sobrevivencia puede generar la búsqueda de resistencia al efecto de presión.

Por otro lado, los genes de tolerancia a herbicida (el 70 - 74 por ciento de los cultivos transgénicos en el mercado son tolerantes a herbicida) pueden transferirse a los parientes silvestres que entonces podrían comportarse como maleza. Además, los herbicidas están en una lógica de una agricultura altamente dependiente de insumos químicos que tienen efecto sobre el suelo, sobre los microorganismos del suelo, y seguramente, aunque esto no se ha estudiado, pueden tener efectos en el organismo humano si quedan residuos de este herbicida en los alimentos. Con el uso de mucho herbicida en cultivos resistentes a herbicida, el efecto residual en el producto es en la salud de las personas. Nadie ha estudiado esto.

La venta de los herbicidas de Monsanto, que es la principal compañía que vende y controla transgénicos en el mundo, se ha ido para arriba, pues vende el transgénico y el herbicida, es ganancia doble. La venta de agroquímicos se está yendo para arriba, aunque tengan un poco de productos *Bt* para disminuir el uso de insecticidas, pero en la balanza, es mucho mayor el porcentaje de productos comercializados tolerantes a herbicidas.

Realmente se han hecho muy pocos estudios de impacto ambiental tanto a corto, como a mediano y a largo plazo.

En el caso de salud, los estudios que se han hecho han sido a corto plazo pensando en alergias, pero no se han hecho estudios a mediano y a largo plazo. Estos estudios son importantes, pues sería necesario averiguar la



existencia de algún producto del metabolismo secundario que pueda causar algún problema, tal vez no en el momento de consumo, sino puede ser algo acumulativo.

Este tipo de estudios no les han importado a las compañías productoras de transgénicos.

6. ¿Cuál es la visión que tienen los grupos sociales con los que trabaja Greenpeace sobre alimentos transgénicos? ¿Cómo se han visto afectados estos grupos sociales con el cultivo y comercialización de alimentos transgénicos?

La discusión sobre alimentos transgénicos en México ya está establecida dentro del sector rural. Aunque este sector es muy grande, es el que más maneja el tema, aunque no lo maneje exactamente bien técnicamente. Muchos de los pequeños productores en comunidades campesinas e indígenas tienen ya posiciones políticas definidas. Estos pequeños productores están preocupados porque han sido presa del gobierno que los ha hecho dependientes de semillas híbridas o de agroquímicos que no les resolvieron sus problemas de producción de alimento, al contrario, tuvieron pérdidas de material genético, de semillas que dejaron de sembrar y las perdieron. Además, tuvieron problemas de salud en la gente por el uso de insecticidas. Ahora hay un problema muy delicado, es que la gente ha tenido que migrar del campo a Estados Unidos por falta de apoyo del gobierno mexicano a la agricultura en las últimas décadas. Desgraciadamente estos productores que han migrado han dejado de producir alimento para los mexicanos y se han ido a producir en los Estados Unidos. Allí también están expuestos a los insecticidas que se usa en la mayor parte de la agricultura, que es la originada de la Revolución Verde.

Las organizaciones ambientalistas manejan también el tema de los transgénicos.

En cuanto al sector académico, existe una buena parte de éste que no maneja el tema, incluso, muchos de los defensores de los transgénicos desconocen la realidad agrícola de México. No saben nada de cultivos, sin

embargo, opinan y defienden a los transgénicos como la maravilla para la producción de alimentos.

El actor que falta en este proceso de discusión es el consumidor, considerando que tanto las comunidades indígenas y campesinas como las organizaciones ambientalistas nos asumimos como consumidores. Estamos empezando a hacer un trabajo como consumidores, pero aquella gente que no tiene que ver con el sector rural o con las organizaciones ambientalistas, todavía no conoce mucho el tema de transgénicos y es el actor de la sociedad que falta en esta discusión.

7. ¿Qué otras alternativas se están discutiendo en los diferentes grupos sociales de la sociedad mexicana para lograr la seguridad alimentaria?

Las comunidades rurales que han sufrido los efectos dañinos de los insecticidas y que perdieron sus semillas criollas, están generando diversas opciones, primero para recuperar sus semillas y generar bancos de semillas para poder tener siempre material disponible. Están aprendiendo a hacer una selección con elementos del conocimiento científico formal, aunque ellos también hacen una experimentación y han logrado mejorar sus variedades.

Algunos de ellos han decidido abandonar el uso de agroquímicos y empezar a practicar actividades más agroecológicas, más responsables con el ambiente. Esto los está llevando a un manejo integral de su sistema agrícola, tanto al hacer un cuidado de su suelo de cultivo como al manejo de las plagas manteniéndolas en un umbral que no afecte a las plantas, pero sin eliminarlas. Estas son las prácticas conocidas como "agricultura agroecológica", "agricultura sustentable", "agricultura orgánica", etc. Además, muchas de estas prácticas están certificadas y siguen procesos estandarizados.

Todos estos grupos se han dado cuenta que con estas prácticas su salud ha mejorado al no estar expuestos a los agroquímicos. Por otro lado, los rendimientos están aumentando



porque está mejorando el sistema de crecimiento de las plantas y éstas expresan entonces su potencial genético, además de que están conservando el suelo para tener una agricultura sostenible en el tiempo. Lo más curioso es que gran parte de la producción agroecológica se exporta para Estados Unidos, porque en este país existe una gran demanda por este tipo de productos, al igual que en Europa, que en Japón, que en Australia o que en muchos países del primer mundo, donde el consumidor sabe que esos alimentos son más sanos y los prefiere, no están comprando ya productos de la Revolución Verde.

Algo importante es que estos grupos quieren seguir produciendo alimentos para una población urbana mexicana. Se está buscando una relación más directa entre sociedad rural y sociedad urbana a través de un comercio alternativo, más directo, más justo y responsable.

Lo que están haciendo las comunidades, en primer lugar, es resolver sus problemas de seguridad alimentaria. Si ellos en principio aseguran su propio alimento, porque ellos han perdido esta capacidad debido a la falta de apoyos, ya están del otro lado. Si después tienen excedentes, será posible venderlos a aquellos que no producen sus alimentos. Mediante adecuadas políticas de apoyo, es posible entonces abastecer las necesidades alimentarias de las ciudades mediante este tipo de prácticas agroecológicas.

Tendríamos que preguntarnos entonces si nosotros los mexicanos como consumidores queremos tener acceso a alimentos más sanos y ambientalmente y socialmente responsables, si queremos que nuestros campesinos sigan existiendo, si queremos que produzcan alimento para nosotros.

8. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige el mundo y el país? Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

En el mundo, la legislación en bioseguridad es escasa todavía, aunque en los países de primer mundo están los marcos de Bioseguridad mejor desarrollados. Yo creo que el más avanzado es el de la Unión Europea, siguiéndole Canadá y Estados Unidos. Cabría mencionar que a pesar de ello, Estados Unidos no tiene el mejor control en todo, de hecho, en este país han habido varios conflictos con transgénicos no aptos para el consumo humano, se han encontrado mezclados con productos para consumo humano, han tenido problemas de contaminación de siembras convencionales para consumo humano con cultivos farmacéuticos.

Existe un marco regulatorio para el movimiento transfronterizo de transgénicos, el Protocolo de Cartagena, que tiene por finalidad la protección de la biodiversidad del planeta dentro de un acuerdo ambiental, que es el Convenio de Diversidad Biológica. Se crea así el Protocolo de Cartagena, que si bien es cierto, no es muy fuerte ni es el mejor, pero ya es un marco legal que le sirve a cualquier país como México, que tiene mucha diversidad biológica que cuidar y que además, no cuenta con un marco legal nacional.

Estados Unidos y otros cinco países productores de transgénicos en el mundo, el llamado "grupo de Miami", tuvieron varios intentos de echar abajo este Protocolo antes de que se firmara.

A punto de entrar en vigor el 11 de septiembre de 2003, Estados Unidos llevó la discusión ante la OMC, en donde pretendió convencer a los países de que los acuerdos ambientales implican barreras al comercio. A Estados Unidos no le interesa ningún instrumento que con el afán de proteger al medio ambiente o la salud de la gente, pueda obstaculizar el comercio. Es decir, para ellos vale más el comercio para la acumulación de capital que la vida.

El gobierno mexicano prácticamente tiene casi la misma posición que el gobierno estadounidense, a pesar de que México es país signatario del Protocolo. El secretario de Economía dio a conocer su postura a varias



organizaciones ambientales y dijo que la posición del gobierno es que no se creen más acuerdos ambientales que entorpezcan el comercio, cuando debería ser al reves. Habría que pensar primero qué prácticas económicas dañan el medio ambiente, la salud de la gente así como la forma de vida de la gente y sus fuentes de trabajo. Debemos buscar un comercio distinto que permita la vida. Si nosotros acabamos con los recursos biológicos, estamos acabando con nuestra posibilidad de existencia en algunas décadas. El marco regulatorio en los países en vías de desarrollo es escaso todavía, se encuentra en proceso de construcción. Existe el problema de que muchos países como México, no han podido contar como sociedad con un marco regulatorio porque existe una gran presión de las corporaciones que intentan bloquear cualquier intento de marco de Bioseguridad. Del gobierno de Estados Unidos también hay una presión muy fuerte.

Respecto a la Ley de Bioseguridad en México, después de mucho debate a lo largo de varios años, han surgido algunas iniciativas de ley, malas la mayoría de ellas pero que han servido para la discusión. Hay una en este momento aprobada por el Senado, es una perfecta ley de promoción a los transgénicos. No es una ley de interés público y realmente no es una ley de Bioseguridad pues no protege ni a la gente ni a los ecosistemas. Deja además de fuera el etiquetado de identificación de los alimentos transgénicos. No instrumenta el Protocolo de Cartagena que ha entrado en vigor, aún cuando es un acuerdo internacional y los acuerdos internacionales se vuelven ley nacional.

Los legisladores presionados por las empresas y por el gobierno estadounidense, no quieren dejar clara la protección de centros de origen y de áreas naturales protegidas. Estados Unidos quiere una ley que no le entorpezca el

camino libre para sus empresas transnacionales productoras de transgénicos, o bien, no quiere ley.

Sin embargo, Estados Unidos tendrá que ajustarse a las medidas que el Protocolo establece al menos para lo que respecta a México. Ahora, lo que tenemos que asegurar como sociedad es que el gobierno mexicano haga valer este acuerdo, porque políticamente no se han querido detener las importaciones de maíz transgénico, por ejemplo. Ahora tendrá que hacerse bajo este marco legal. En este sentido, la sociedad tiene mucho qué hacer y qué presionar al respecto.

En septiembre del año 2003 se llevó a cabo la reunión ministerial de la OMC, en donde se llegaron a acuerdos en materia agrícola y se promovió que los acuerdos ambientales no estuvieran por encima del comercio. Esto es lo que quieren los países poderosos, aunque los países pobres seguramente quieren un comercio que no dañe el ambiente y la salud de la gente. Se discutió sobre inversión, sobre asuntos laborales, es decir, cómo los países pobres se han visto afectados por las fuertes inversiones que no cumplen con reglas laborales justas, etc. El problema aquí es que estas reuniones de la OMC son realmente antidemocráticas, las decisiones las toman los países que son más ricos, mientras que los países pobres tienen que asumir las decisiones tomadas.

Las organizaciones ambientalistas, campesinas y obreras de muchas partes del mundo tuvieron muchos foros paralelos de discusión, porque la reunión de la OMC es cerrada. Las organizaciones civiles tratamos de hacer llegar nuestro mensaje a la población a través de los medios de comunicación acerca de que otro mundo es posible, de que otra forma de comercio es posible, de que es importante la vida y que no tenemos que amenazarla con transgénicos ni con prácticas devastadoras.



7. SILVIA RIBEIRO GRUPO ETC

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo?

Para comenzar, no, en realidad yo creo que en la configuración actual empresarial que hay en el mundo, que no sólo se aplica a la Biotecnología sino a muchas otras tecnologías, es muy difícil aislar la tecnología del contexto, y en este momento está claro que la Biotecnología a nivel de la agricultura y la alimentación, sobre todo la Biotecnología Moderna o la Ingeniería Genética, puede ser un instrumento para provocar mayor desigualdad a nivel de la sociedad, porque crea mayor dependencia desde el punto de vista económico y biológico. Esto ya es así con las nuevas generaciones que implican el uso de semillas suicidas, lo que va a crear mayor dependencia de los agricultores en general hacia muy pocas empresas. Promover situaciones de competencia peores de las que hay ahora, es lo que hacen las nuevas tecnologías.

A mí no me gusta utilizar el término Biotecnología e involucrar a la llamada Biotecnología tradicional, como el mejoramiento de vegetales o el mejoramiento campesino, no me gusta decirle Biotecnología porque la palabra está muy asociada a la tecnología genética y a la Biotecnología Moderna. Pero si lo vemos desde ese punto de vista, yo creo que el mejoramiento y el trabajo campesino sí va a ser fundamental, sobre todo para los países del sur, para tener un desarrollo basado en su propia soberanía, porque eso es lo que le da la posibilidad de que tengan variedades vegetales que estén desarrolladas de acuerdo a las múltiples situaciones climáticas, geográficas, culturales; todo ello referido al saber y al trabajo campesino e indígena. Se puede entonces también trabajar con estos agentes, a nivel de laboratorios, de bancos de germoplasma, etc. Por poner un ejemplo, aquí en México podría haber una colaboración más estrecha para

promover y ayudar a ese mejoramiento campesino, lamentablemente ese trabajo se hace muy poco en México. Si se hiciera más eso, yo creo que existirían más bases para tener mejor aprovechamiento, mejor rendimiento, corregir problemas que tienen que ver con lo ambiental, sobre todo, daría muchas más posibilidades desde el punto de vista social. Básicamente, yo pienso que la Biotecnología no sólo no es un adelanto, sino que pienso que es lo contrario. Ahora, en cuanto al desarrollo campesino de variedades, pienso que tiene un papel muy importante, sería ideal que se pudiera continuar y reafirmar.

2. ¿Cree usted que los cultivos transgénicos destinados para consumo alimentario, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene México para lograr la seguridad en el abasto de alimentos? ¿Existen otras alternativas?

No, es lo contrario, un poco por lo que explicaba antes. Aquí hay dos conceptos. En cuanto al de seguridad alimentaria, habría que saber qué quiere decir seguridad alimentaria. Al principio, cuando se comienza a utilizar el término de seguridad alimentaria, su definición técnica es que exista la suficiente cantidad de alimentos para que se alimente a cierta cantidad de personas, no habla de calidad, no habla de cómo se produce ni tampoco habla del acceso real; entonces ese es el argumento de las multinacionales que hacen un cálculo matemático que de por sí es incorrecto (incorrecto en el largo plazo). Por ejemplo, dicen, "una variedad de maíz producen tanto miles de toneladas, mientras una variedad campesina a lo mejor no llega a una tonelada, como pasa en muchos lugares en México, entonces las multinacionales hacemos semillas que producen más y va a haber mayor cantidad de alimentos". El problema es que en el mundo en este



momento se produce la cantidad de alimentos necesarios para alimentar a toda la población del planeta, y sin embargo, la mitad de la población del planeta se encuentra en condiciones de hambre o desnutrición. Es evidente que hay un problema de acceso, no es un problema técnico.

El caso de los alimentos transgénicos conlleva toda una cantidad de riesgos, primero que no tienen que ver con la soberanía alimentaria, que es el principio que rescatan las organizaciones campesinas, donde el que produce es también el que consume. Es importante considerar el aspecto de calidad, no sólo de cantidad, y además de acceso, es decir, que la gente tenga acceso a la comida que se produce. En el caso de los alimentos transgénicos, como tales, todos sin excepción, fabricados por empresas gigantes multinacionales, a través de sistemas de patentes o a través del control del mercado, van cada vez más a acumular mayores porcentajes del mercado. Puede suceder que haya mucha producción, pero que a la gente no le llegue, por razones de precio o por razones de cualquier otra índole. Además, los alimentos transgénicos tienen otra serie de riesgos, independientes a éste, desde el punto de vista de la salud y del medio ambiente.

3. ¿Considera usted que México cuenta con la capacidad técnica y científica lo suficientemente madura para el desarrollo, siembra y comercialización de transgénicos de uso agrícola?

No, México puede tener la capacidad de producir transgénicos, pero de ninguna manera de competir. Para empezar, por ejemplo, en un laboratorio público de Biotecnología en México, vamos a ver que gran parte de sus estudios los tiene financiados por las mismas empresas multinacionales, es decir, que tienen una situación de dependencia. Segundo, mucho de lo que están utilizando y algunos elementos básicos para la producción de transgénicos, están patentados por algunas de esas multinacionales, pero todo eso es como una cadena, como una red, es como una

ilusión cuando se dice "hagamos biotecnología mexicana y así evitar el efecto negativo de las multinacionales". Los marcadores genéticos, los promotores que utilizan, todos están patentados por las mismas empresas, entonces, de cualquier modo tienen que ir y pagarle a las empresas, o en el peor de los casos, que las empresas les digan que "no". Porque sencillamente no siempre es un problema de dinero, sino el problema mayor está en que no haya competencia.

El problema no es cuestionar el que exista o no la capacidad, ya que por más que exista capacidad técnica, de todas maneras se cae en esa red que es el control del mercado de las patentes por muy pocas multinacionales que paradójicamente tiene muchos intereses en los mismos laboratorios públicos.

Y luego hay otro aspecto, voy a poner un ejemplo, en el CINVESTAV, Herrera Estrella acaba de recibir un premio de las multinacionales porque produce un maíz resistente al aluminio, entonces parecería que esa es la solución y la demostración de que va a ser un maíz que va a beneficiar a México. Ello es una mentalidad equivocada; primero, hay variedades nativas de maíz en México que son resistentes al aluminio, si fuera el caso, por ejemplo, se podrían utilizar éstos, que lógicamente no están patentados y corresponde a variedades campesinas, sin correr los riesgos de la inestabilidad genética que producen los transgénicos. Segundo, habría que considerar también que si hay aluminio en los suelos, es por un mal manejo en la agricultura, entonces, lo que se está diciendo es que "si manejo mal la agricultura, vamos a hacer algo que resista a algo que está equivocado". Entonces, la pregunta sería si se va a continuar con todas las prácticas negativas que van a seguir depredando el suelo, erosionando, produciendo mayor cantidad de aluminio, y cada vez vamos a ir inventando algo para solucionar los nuevos problemas surgidos. Al final vamos a tener que producir seres humanos resistentes a todo tipo de tóxicos, porque parece que es la única manera de sobrevivir con esa mentalidad.



Los transgénicos jamás van a ser adaptados a la situación de México, considerando que la gran diversidad de maíz, frijol, chile, calabaza, jitomate está en México, en gran medida gracias a los campesinos, quienes paradójicamente están ubicados en zonas marginales. Cada campesino adopta variedades al mismo tiempo para cubrir diferentes necesidades, por ejemplo, una familia maneja 10 tipos de maíz, entonces ya sabe que tal vez una variedad resista los suelos que están más erosionados como parte de la resistencia al aluminio, pero no es tan sabrosa, otra variedad es más sabrosa, otra variedad resiste a tal plaga, otra variedad porque cuando se hace la tortilla le dura más y otra porque la tortilla es más suave. Entonces tienen todo un espectro de seguridad, si una no le sale buena pues tiene la otra; eso se repite en los millones de familias campesinas que hay en México. Entonces ningún laboratorio de México, ni el mejor ni el mejor intencionado, que use o no transgénicos, va a producir la semilla milagrosa que resuelva los problemas de México, porque la solución de los problemas de México está en la biodiversidad, y la biodiversidad tiene que ver con lo que hace la gente. La solución no puede venir del laboratorio, un laboratorio sí puede estimular el desarrollo, sí puede ser muy positivo, pero sólo hasta ciertos límites.

El problema del hambre en el mundo es más un problema técnico, de injusticia social y de mala distribución. Por otro lado, toda la agricultura que hay, está basada en la agricultura campesina y es un mito que la agricultura campesina no puede producir lo suficiente; la agricultura campesina no sólo no puede producir lo suficiente para sí misma sino que puede producir mucho más en mejores condiciones, ya que están produciendo en situaciones de marginalidad, en situaciones de enormes presiones de todo tipo. Pero además, dentro del predio del propio campesino, no sólo produce lo poquito que lleva al mercado, lo que produce, sobre todo, es lo que le da de comer a la gente. En México sólo el 25 por ciento de la población se

autoalimenta, pero además, hay varios estudios de organizaciones campesinas que muestran que sí se podrían producir los alimentos necesarios para la población con otra estructura de producción, estructura que favoreciera la producción a pequeña escala.

4. ¿Cuáles son los riesgos socioeconómicos de la introducción de alimentos transgénicos?

Yo creo que tenemos todo para realmente perder, los riesgos sociales y económicos son los mayores. En cuanto a lo social, con respecto a las comunidades campesinas, ya se ha hablado anteriormente de los posibles impactos negativos.

Los híbridos y otras semillas que se han usado antes, son diferentes a los transgénicos por más que fueran hechas en laboratorio, pues no se trataba de semillas con genes de especies diferentes. Ahora, con los transgénicos se da una situación nueva, que es que un transgénico puede contaminar una variedad nativa, puede introducirse en una variedad nativa. En Noruega, Francia, y también aquí en México, se ha hablado acerca de que en el caso específico del maíz, se puede desestabilizar la especie. Ésta es una planta muy delicada desde el punto de vista genético, por ejemplo, un problema agronómico, ya sea porque hay mucha sequía o muchas lluvias, puede hacer que la planta se desestabilice y no maduren al mismo momento las partes femeninas y masculinas, esto provocará que no haya fecundación. Esto sucede así sin haber transgénicos, estando éstos presentes, la situación sería mucho peor. Seguramente si se le introducen a ese maíz genes de una especie diferente, la tendencia del maíz va a ser la inestabilidad. Esto va a producir un impacto fuerte en variedades criollas que pudiesen estar contaminadas, tal vez no en una primera, pero sí en una segunda o tercera instancia.

Entonces lo que va a suceder, hablando de los impactos económicos, es que en determinado momento muchas de las plantas en México van a tener genes patentados por empresas. En este momento, en Estados Unidos y



Canadá, hay más de 2000 juicios contra agricultores a los que se les acusa de uso ilegal de la patente, como sucedió con el agricultor canadiense Percy S., quien sin usar transgénicos, tenía dentro de sus cultivos canola transgénica por contaminación genética. Esto quiere decir que la contaminación genética en México no solamente tiene un problema ambiental, sino que podría incluso llevar a que las empresas dueñas de las patentes demanden a los campesinos para que les paguen su patente; si los campesinos no les pueden pagar, igualmente sería un instrumento muy poderoso para desalojar a los campesinos de una determinada zona.

Yo pienso que la consecuencia económica tiene que ver con el monopolio, existe una gran concentración, incluso en el caso de los supermercados y de los alimentos procesados. En el área alimentaria, la concentración también es muy fuerte, hay 10 empresas que manejan más del 40 por ciento de los alimentos que hay en estos momentos en el mercado y la tendencia va en aumento. En la agricultura es mucho más que eso, por ejemplo, en agroquímicos, 10 empresas tienen el 90 por ciento del mercado, entonces lo que va a suceder es que van a dar cada vez menos opciones, aunque tengan 50 marcas, igual van a ser las mismas opciones controladas por algunas pocas empresas. Uno piensa que tiene muchas opciones cuando cada vez tiene menos; lo que se está dando es una fusión entre las empresas de semillas y de agroquímicos con las empresas procesadoras de alimentos y bebidas así como con las distribuidoras. Finalmente lo que va a suceder es que la misma empresa va a ser dueña del ideogermoplasma, es decir, no de la semilla, sino de la idea de la semilla.

Esto lleva al consumidor a una falta de elección de lo que debe comer, de lo que quiere comer, digamos, una manipulación. Y desde el punto de vista social, es una pérdida cultural enorme, ya que en México, la cultura alimentaria tiene que ver con que es riquísima, con la identidad, con el hecho de que está basada en la regionalidad, en lo

local. Todo eso desaparece con la cultura de los supermercados. Por ejemplo, la harina de Maseca no es harina nixtamalizada, ese proceso no es sólo una pérdida cultural, sino que la nixtamalización del maíz, desde tiempos de los indígenas, permite que la vitamina B esté disponible. También va a haber un elemento de pérdida desde el punto de vista nutricional.

Buscan agregarle hierro y vitaminas, el problema es que ello va a producir una uniformidad en la alimentación. Se trata de algunos pocos alimentos que teóricamente van a tener una serie de agregados que serán sintéticos o transgénicos. Son alimentos que producen mayor dependencia y que tienen un riesgo muy alto, ni siquiera hay un cálculo costo-beneficio estricto. No tendría sentido porque hay una gran cantidad de otras alternativas.

5. Cuáles son los posibles riesgos de los cultivos transgénicos en el medio ambiente y en la salud? ¿Qué estudios se han hecho al respecto?

Yo creo que lo más grave con los alimentos transgénicos es que estamos siendo usados como conejillos de indias, toda la historia de consumo de los últimos 100 años ha sido la utilización de la gente como conejillos de indias, tal es el caso de los colorantes químicos que ahora están prohibidos porque eran cancerígenos, o los conservadores que salieron del mercado. Seguramente aquí todavía algunos se encuentran en el mercado, pero en Europa y Estados Unidos, están prohibidos. Por ejemplo, la leche que se produce por la hormona del crecimiento bovino que se le inyecta a las vacas para que produzcan el doble de leche (esto sólo está permitido en Estados Unidos y en México, y los mexicanos ni siquiera lo saben), se permitió en Canadá durante 5 años y después fue retirada, apelándose al sufrimiento animal, porque en lugar de producir 20 litros producían 40, y tenían problemas permanentes en la columna, no se podían sostener, etc. En Canadá fue así, pero en Estados Unidos y en México estamos



consumiendo ese tipo de productos y no sabemos qué efecto pueden tener. Los transgénicos que en este momento se encuentran en el mercado, el 76 por ciento son tolerantes a herbicida, el 18 por ciento están transformados con la toxina *Bt* para resistencia a insectos, y el resto son una combinación de los dos: plantas insecticidas o plantas con tolerancia a herbicida. Las plantas con tolerancia a herbicida usan un nivel de químico mucho más alto, entonces esto deja una residuo mucho mayor por la manera de aplicación. A la planta le queda un residuo 200 veces mayor, eso nos lo estamos comiendo. En estos momentos, hay estudios al respecto en Suecia, en el Instituto de Carolina, que es el que otorga el Premio Nobel de Medicina. Estos estudios vinculan al glifosato con la aparición de un cáncer de ganglio. Estas son cosas nuevas, porque el aumento del uso de alguna sustancia empieza a producir ciertos efectos; se puede decir que tales efectos no son ocasionados directamente por lo transgénicos, sino por el glifosato, pero se usa más glifosato por la introducción de transgénicos tolerantes a herbicidas.

Luego están los efectos directamente vinculados a los transgénicos. En la Universidad de Newcastle, por pedido del ministerio de Agricultura de Inglaterra, hacen un estudio con seres humanos, en donde les dan a consumir a seres humanos un vaso de leche con soya transgénica, una malteada con soya transgénica y una hamburguesa con soya transgénica. El estudio lo hacen con pacientes que tiene una bolsa de colostomía (no tienen una parte del intestino grueso), se trata de siete pacientes que participan voluntariamente. Veinticuatro horas después de que los pacientes consumieron la soya transgénica, se analizó si las bacterias del intestino se habían recombinado y si eran resistentes a herbicidas. En 4 de 7 casos había recombinación, es un porcentaje altísimo, considerando las veinticuatro horas y una sola comida. En el caso de los que tenían el intestino completo no lo encontraron, de cualquier manera, varios laboratorios de Inglaterra mencionaron que la sonda que

habían utilizado para la segunda experiencia no era la correcta. Pero anteriormente ya habían hecho el mismo experimento en vacas (las cuales tienen un sistema digestivo mucho más elaborado que el nuestro), las muestras las tomaron directamente sobre las heces y también observaron recombinación de bacterias. Este estudio con mamíferos más grandes y el estudio con humanos en Newcastle permite concluir ciertas cosas: La prueba que hicieron en Newcastle fue con la resistencia a herbicida, no la hicieron con la resistencia a antibióticos, pero más del 60 por ciento de los marcadores que se utilizan en alimentos transgénicos son de resistencia a antibióticos. Eso quiere decir que se agrega el problema de la resistencia a antibióticos que existe en el mundo, que de por sí es un problema que ya existía. En Medicina, anteriormente se calculaba que la vida promedio de un antibiótico era de 15 años, ahora se calcula de 5 años, es decir, inmediatamente se generó resistencia.

Luego existen otros problemas, es decir, "la caja negra", no se sabe, estamos consumiendo y poniendo en contacto nuestro organismo con una serie de elementos que pueden alterar directamente el genoma de las bacterias. Se comprobó también en Noruega que conejos habían absorbido en los pulmones el material transgénico y se había presentado recombinación, es decir, lo habían absorbido directamente los tejidos. En ser humano no se comprobó.

También están todos los casos de virus, que se supone que todos los virus con los que trabajan, son virus que les llaman "atenuados", es decir, que no podrían estar en condiciones de reproducirse. En Noruega, que es uno de los países que ha hecho más experiencias al respecto, en un laboratorio de la Dirección de Asuntos Ambientales de Noruega, un laboratorio del Estado, hicieron la experiencia de inyectarles virus atenuados a conejos con una enfermedad que no era muy virulenta, esperaban un resultado negativo, porque era una prueba de control, y no sólo les dio positivo sino que en algunos casos fue letal, entonces realmente lo que se sabe de la



recombinación de virus y bacterias es muy poco.

La Biotecnología, incluso la que se hace en el IBT, emula lo que la naturaleza hace por sí misma. La forma en que se trabaja es como si apagamos todo en una habitación y trabajamos a oscuras, sólo con un poco de luz que entra. Eso es lo que ellos saben y sobre eso están trabajando. Así, las alergias representan otro problema, ya que se crean nuevas proteínas que no están reconocidas por el organismo

Realmente hay una actitud muy irresponsable desde el punto de vista de los que están comercializando esos alimentos, de ponerlos en circulación sin saber qué efectos tienen.

6. ¿Cuáles serán las consecuencias socioeconómicas para México con la entrada en vigor del Protocolo de Cartagena el día 11 de septiembre de 2003?

México puede rechazar cualquier tipo de cargamento. México puede producir su propio maíz, no necesitaría importarlo, para empezar, esa sería la mejor solución económica para el país, que produjera su propio maíz y que no fuera transgénico. Ahora, dado el caso de la aplicación del Protocolo de Cartagena, éste es bastante pobre ya que sólo aplica a organismos vivos modificados, entonces si se manda a México una semilla que es para procesamiento de alimentos o para procesamiento animal, el Protocolo de Cartagena no tiene ningún mecanismo. Lo primero que sucedería en México es que le indicarían que un cargamento de maíz, por ejemplo, no es maíz para plantar, sin embargo, los campesinos no hacen la diferencia.

El protocolo de Cartagena le va a dar empleo sobre todo a los abogados, yo no dudo que los abogados de Greenpeace y los abogados en otros lugares puedan hacer un buen caso, pero no es tan fácil. Lo que tendría que suceder es que se importara el maíz como un organismo vivo, sin embargo, todo el maíz que se importa es sólo para procesamiento, y aunque eso no lo saca del Protocolo, elimina

todo el proceso de consentimiento previo a una simple notificación.

Por lo tanto, el Protocolo de Cartagena es más débil de lo que se piensa, por algo las empresas estuvieron trabajando en él, por algo demoró tanto en salir.

Ahora, en el caso de que México no apruebe un embarque, el caso sí podría ser llevado a la OMC. Lo primero que tendría que suceder es que hubiera un gobierno en México que se hiciera cargo de eso. En estos momentos Estados Unidos está llevando a juicio a Europa, al panel de la OMC. Yo me pregunto "¿cuántos gobiernos del sur, con lo que está sucediendo en Europa, van a animarse a usar ese recurso?". No es la primera vez que sucede, que Estados Unidos se vaya a un juicio contra Europa, que realmente es un juicio intimidatorio para el resto del mundo. Se produciría un problema de abogados, habría que poner muchísimo dinero de México en la parte de la defensa de un caso así. De cualquier manera, se podría hacer eso, incluso, se podría pedir responsabilidad por la contaminación a las empresas antes de que éstas demanden porque sus genes patentados están aquí.

El Protocolo de Cartagena es utilizable, pero exige un nivel de activismo, de compromiso social. Y por otro lado, exige una inversión muy grande de dinero. Habría que gastar cientos de miles de dólares e incluso, millones de dólares al entrar en un juicio para defender el patrimonio histórico de México en lo que se refiere a su maíz o para defender la salud de sus consumidores, con el riesgo de perderlos.

7. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige el mundo y el país?

Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

La iniciativa de ley es terrible, es vergonzosa, incluso dentro del tema de las leyes de Bioseguridad, que ya de por sí son problemáticas.



En estos momentos plantar maíz transgénico en México es ilegal. Contrariamente a lo que se pensaría, muchas veces las leyes de seguridad son como un canal que legaliza todo eso y lo hace más fácil.

La iniciativa de ley en México es vergonzosa porque por definición coloca al Protocolo de Cartagena por debajo de la OMC, entonces no es necesario aplicar el protocolo de Cartagena, que es la salvaguarda que querían tener, supongo yo, en caso de que entrara en vigencia, que es lo que ocurrió. Tiene muchas otras deficiencias como el hecho de que se dividen los transgénicos que afectan al medio ambiente, los que afectan a la salud y los que afectan a la agricultura. Todo lo que es alimento entra a SAGARPA por una ventanilla única, pero de hecho, medio ambiente y salud salen de la decisión de la liberación de transgénicos. Pasa sencillamente a agricultura, que por su parte, de todo lo que se conoce hasta ahora del ministerio de agricultura, sus intereses están sumamente ligados con los de las compañías multinacionales.

Por otro lado, en la ley de bioseguridad no se reconoce la importancia de los centros de origen de diferentes cultivos. Realmente es una ley desastrosa; dentro de las leyes de Bioseguridad es mucho peor que otras, está muy por debajo incluso del propio Protocolo de Cartagena con sus debilidades. Es de esperar que no se apruebe en la cámara de diputados, a pesar de que fue aprobada en la cámara de senadores, aunque de la manera más irregular. Fue aprobada sin lectura, en el último momento, cuando toda la prensa estaba dedicada al tema de la guerra en Irak.

Cabe mencionar que, entre los senadores que han aprobado la ley, se encuentra el senador del PRD Rodimiro Amaya Téllez, quien es un agricultor que tiene transgénicos y al que le interesa la liberación de los mismos. Luego, cuando finalmente algunos senadores nos dan alguna entrevista a las ONGs, argumentan que ya han hablado con Bolívar Zapata, quien les ha explicado que la ley es muy adecuada.

Desde el punto de vista de la legislación, yo soy de la opinión de que México no debería tener transgénicos, entonces me parece peligroso que haya una ley de Bioseguridad que haga que al juicio de unas pocas personas se decida o no si en México se van a liberar transgénicos, cuando no ha habido un debate social real.

Hasta ahora, no han demostrado ni la CIBIOGEM, ni ningún otro organismo, estar protegiendo realmente a México como centro de origen de algunos cultivos.

Para mí es muy grave que estén participando en la discusión pública quienes tienen un interés económico, que más allá de que tengan una opinión sobre el tema, jamás podrán estar al mismo nivel de las organizaciones ambientalistas, de los consumidores o de la propia gente u organizaciones involucradas con el tema de salud, que no tienen un interés de lucro. En todas las consultas, participan más bien las empresas con algunos poco científicos en México como Bolívar Zapata o Estrella, quienes tienen vinculaciones muy notorias con las propias empresas. Por citar un ejemplo, el actual secretario de SAGARPA, Villalobos, fue asesor durante 7 años de Pulsar.

8. MARIANO CEREIJO GELO CONSULTOR MEDIAMBIENTAL Y ECOLOGISTA ESPAÑOL

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de los países?

Opino que no. El principal problema de los países del tercer mundo (económicamente

hablando), tiene motivos políticos y económicos. El capitalismo ha generado más pobreza y desigualdad, y estamos hablando de problemas estructurales.



El desarrollo de los países depende de enfoques políticos y económicos contrarios a los actuales. Me refiero al neoliberalismo, que claramente sepulta a las capas más vulnerables de la sociedad, cuando se antepone lo económico a lo social, y cuando se permite competir en las mismas condiciones a grandes corporaciones extranjeras con pequeños negocios familiares nacionales.

Querer apostillar a la Biotecnología, como de herramienta estratégica, es una farsa inventada por las multinacionales. Se pretende mostrar a la sociedad, lo imprescindible de la Biotecnología (como el caso del arroz dorado), hacer creer que en dicho campo, se halla la solución a los problemas que acechan a los países pobres. Es así como se quiere obtener una imagen favorable de la Biotecnología que allane su incorporación inmediata a nuestra sociedad.

2. ¿Cree usted que los alimentos transgénicos, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son la mejor opción que tiene un país como México para lograr la seguridad en el abasto de alimentos?

Para nada, al contrario. Si se investiga un poco, se verá como todas las maravillas que estos alimentos anunciaban, se han caído por lo suelos. Ni más producciones, ni menos agroquímicos, ni menos hambre.

Precisamente, las patentes que resguardan estos inventos, crearán más dependencia y pobreza entre los agricultores y campesinos. Esta pobreza, conllevará más inseguridad alimentaria y menos accesibilidad a los alimentos.

¿Qué otras alternativas existen?

Soberanía alimenticia, que México produzca sus alimentos sin tener que depender de patentes y de multinacionales. Por otra parte, políticas que garanticen trabajo, sanidad, educación, cultura, etc. El problema no es la cantidad de alimentos, el problema es la accesibilidad a ellos. Existen alimentos para

una población de 8000 millones de humanos y somos 6000.

Para ello, se debe fomentar la producción nacional, que a la vez que garantiza los alimentos para la nación, enriquece a productores nacionales generando puestos de trabajo, que mejoran las situaciones de millones personas (nótese que la situación no sólo mejora en el ámbito alimentario, también lo hace a nivel de educación, sanidad, etc.). Estamos hablando pues, de proteccionismo por parte del Estado. Todo lo contrario de lo que sucede ahora, donde los mercados de América Latina se ven invadidos por producción norteamericana subsidiada, que desplaza la producción nacional generando pobreza y por lo tanto, dificultad de acceder a una alimentación sana y equilibrada.

El problema de los transgénicos estriba precisamente en que no se garantiza la soberanía nacional, porque simplemente las semillas son patentadas y depende de los precios y caprichos de una multinacional. Con las agendas de libre comercio, donde las empresas adquieren más poder que el propio Estado, el tema se complica en cuanto a que las multinacionales pueden operar con más libertad y con más seguridad, y el Estado pierde efectividad y poder real de defender la producción e intereses nacionales.

3. ¿Qué impactos sociales y/o económicos pueden generarse con la producción de alimentos transgénicos?

a. Impactos en los consumidores en general

Inseguridad alimentaria. Insisto en el problema de la filtración genética, por ser un fenómeno ya real y con casos ya documentados. Sin enterarnos, nuestro plato se ve invadido de alimentos transgénicos

b. Impactos en las comunidades campesinas

c. Impactos en las comunidades indígenas

Por una parte, todos los problemas derivados de las patentes (caso del agricultor canadiense Percy S).



Por otra parte, todos los problemas sanitarios derivados de los transgénicos incidirán de una forma más evidente en los sectores más vulnerables de la población, que suelen ubicarse mayormente en zonas rurales e indígenas.

Por otro lado, los transgénicos suponen una nueva revolución verde en el campo, en cuanto a que las formas de producción van a cambiar. El paquete tecnológico para poder desarrollar los cultivos transgénicos, es muy diferente a otros (por ejemplo, se habla de vallas genéticas o refugios). Se depende más de la multinacional para poder cultivar adecuadamente los transgénicos. Los transgénicos son cultivos muy vulnerables y con posibilidad contrastada de contaminar cultivos tradicionales. Para evitar esto, la propia industria ha creado sus paquetes tecnológicos.

Esta revolución supondrá un cambio en las formas de producción del campesino. Abandonará no solo las semillas tradicionales (con el riesgo de perderse para siempre), sino las formas de producción e incluso, las formas de relacionarse y concebir la vida., será un sujeto pasivo.

4. ¿Qué consecuencias podría traer la pérdida de cultivos tradicionales, así como los cambios en las modalidades de aprovechamiento de la tierra para las comunidades indígenas y campesinas?

Dependencia, simplemente dependencia de semillas y de paquetes tecnológicos. Cuando el agricultor se transforme en un ser dependiente, lo perderá todo. La multinacional dictará las condiciones. Con las agendas de libre comercio, la cosa empeora por los motivos que dije antes.

5. ¿Qué opinión le merece a usted el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige al mundo?

No existe un marco regulatorio a nivel mundial, depende de zonas y países. En Europa, los transgénicos tienen muy restringidos los campos de cultivo. La

comercialización es más frecuente aunque existen restricciones. Esto ha supuesto una denuncia reciente del presidente Bush ante la OMC.

En otros países como Nicaragua, no existe marco regulatorio. Hay vía libre a la entrada.

En general, los políticos a nivel mundial, favorecen los intereses de las multinacionales por encima de los intereses de consumidores y agricultores. He aquí un claro ejemplo del tipo de democracia donde vivimos. Además, manda más la OMC que los ciudadanos y los gobiernos de cada país.

6. ¿Cree usted que la sociedad en general posee la información básica necesaria sobre alimentos transgénicos para tomar decisiones que puedan afectar a su capacidad de subsistencia y a su salud?

Para nada. siempre se ha intentado ocultar, y cuando no se ha podido se ha manipulado. Las multinacionales cuentan con el apoyo de los políticos, medios de comunicación y de los organismos como la OMC. Los ciudadanos estamos solos y desprotegidos, pero somos más y debemos hacer sentir nuestras inquietudes, ante esta especie de dictadura del capital. Aquí tiene su vital importancia las organizaciones civiles, ONGs, etc.

7. ¿Cuál es la percepción que tienen la sociedad europea sobre alimentos transgénicos?

Existe mucha desinformación, pero existe un repudio generalizado a estos alimentos y cultivos. No obstante, como decía antes, los políticos anteponen los intereses de las multinacionales al de los ciudadanos, sobre todo en España, donde el lamebotismo de Aznar a Bush, se ha prolongado mucho más que la participación ridícula en la guerra de Irak.

A pesar de dicho repudio, se permite el consumo de estos alimentos, desoyendo la opinión del pueblo. Como decía antes, es una dictadura donde nuestra opinión no vale.

Las organizaciones ecologistas, civiles, etc., han suplido el papel de los políticos. Han



informado a la sociedad, y todas las restricciones al cultivo y medidas al consumo de transgénicos que han provocado el enojo

de Bush, han sido gracias al trabajo de estas organizaciones.

9. ADOLFO OLEA FRANCO UAM XOCHIMILCO

1. ¿Considera usted que la Biotecnología es una herramienta estratégica para el desarrollo de México y de los países del mundo en general?

En primer lugar, lo que yo afirmaré es que hay que entender cuáles son los orígenes socioeconómicos de una tecnología. En este caso, si uno habla de Biotecnología, habría que ser más precisos en qué tipo de Biotecnología estamos pensando, puesto que es un campo muy grande en el que hay muchos tipos de aplicaciones del conocimiento biológico en su nivel más fino de aplicación que es a nivel intracelular, genético, de proteínas y demás.

Las tecnologías, en general, no surgen para resolver los problemas de la humanidad *per se*, sino que surgen como productos de empresas que pueden ser públicas o privadas y que se dedican a la generación de conocimientos cuyas aplicaciones generan tecnologías que se patentan y que por ende, son fuente de regalías, de ganancias. Por lo tanto, si se entienden los orígenes socioeconómicos de las tecnologías, uno se ve forzado a replantear la pregunta. Es decir, no son proyectos necesariamente públicos dirigidos al bien común o al interés general los que producen algunas de estas tecnologías, sino son esfuerzos dirigidos a obtener ganancias.

Las biotecnologías son un grupo de tecnologías distintas, y aludiendo específicamente a los organismos transgénicos, habría que decir que dado el control monopólico de estas tecnologías por tres o cuatro grandes empresas que dominan el mundo en este terreno, no consideraría que para una nación sea una prioridad este tipo de tecnologías, su uso implica el pago de cuantiosas regalías a las compañías que son

poseedoras de estos conocimientos, que son las dueñas de las patentes.

Para responder adecuadamente esta pregunta, habría que contrastar lo que es el interés nacional, el interés público o general (de modo abstracto, explicaría como aquello que representa el interés más general de la mayoría de la población de un país, haciendo abstracción que existen diferencias entre clases sociales, diferencias étnicas, etc.) con el interés de toda empresa capitalista que es la ganancia, de modo que si no la obtiene pierde su sentido para los accionistas de la compañía. De este modo, yo veo el interés nacional y el interés de las empresas capitalistas en antagonismo completo, no son compatibles: Más allá de cualquier declaración que hagan, la razón de ser de las empresas capitalistas, desde el punto de vista socioeconómico, es la ganancia, aunque afirmen que quieren ayudar a la humanidad; por otro lado, el interés de una población o el interés general está en resolver sus problemas fundamentales, como puede ser la producción de alimentos sanos e inoocuos en cantidades suficientes, y sobre todo, que lleguen a todos los sectores de la población.

En el caso específico de organismos transgénicos, sería necesario entonces entender cómo surge esta tecnología y qué fines persiguen con ella quienes la generan y retienen las ganancias por su comercialización; es necesario también pensar en los intereses de otros sectores de la sociedad, como puede ser un campesino o un agricultor común y corriente.

El uso de organismos transgénicos, ya sea en la ganadería o en la agricultura, demanda tener una infraestructura para la producción que sólo las grandes corporaciones agroindustriales tienen, mientras que la



mayoría de los agricultores y campesinos no poseen los insumos y los medios de producción que se requieren para estas biotecnologías modernas. En nuestro país, la mayoría de los agricultores no tienen irrigación, no tienen mecanización de la agricultura, no usan fertilizantes, no usan insecticidas ni herbicidas, ni otros agroquímicos que son prácticamente indispensables para cultivar transgénicos como la soya, el jitomate, el algodón y varios otros, que son resistentes a herbicidas. Aquí se da la casualidad de que la misma empresa que produce el transgénico resistente al herbicida produce también el herbicida. Por ejemplo, Monsanto produce soya resistente a herbicida y además produce el glifosato que es el herbicida requerido. La compañía vende realmente un paquete de mercancías que le significa un ingreso seguro año tras año, porque además, las semillas transgénicas se usan solamente para una cosecha. El comprador de la semilla firma un contrato en el que se compromete a no reproducir la semilla, y si lo hace, se considera como un delito. Incluso, hay casos como el de un agricultor canadiense en cuyos terrenos creció canola transgénica que él no había sembrado pero que seguramente cayó la semilla de terrenos aledaños, o bien, hubo transferencia de genes; al analizar bioquímicamente mediante técnicas de secuenciación de DNA la canola crecida en los terrenos del agricultor, se encontraron secuencias transgénicas; fue acusado y de hecho, perdió el juicio y fue condenado a pagar cuantiosas cantidades de dinero.

No existe un país de tercer mundo, ni un país europeo (porque allá no se están cultivando transgénicos), que posea una patente para algún cultivo transgénico. Los únicos países en los que se cultivan cuantiosamente los transgénicos son Estados Unidos, Canadá, Argentina, y algo en Australia. Aunque en el país tengamos a biotecnólogos como Luis Herrera Estrella o al Instituto de Biotecnología de la UNAM, México no tiene ninguna patente de cosecha transgénica. Por otro lado, tiene prácticamente una probabilidad cero de llegar

a tener una, pues el simple registro de una patente cuesta millones de dólares.

Diría entonces que los organismos transgénicos, como una forma de aplicación de la Biotecnología, no tiene para la inmensa mayoría de las naciones, un valor estratégico para el desarrollo de su agricultura, de su economía y la alimentación de sus pueblos, porque es un negocio controlado por tres o cuatro transnacionales que poseen casi todas las patentes biotecnológicas.

Habría que entender también que este período histórico de los últimos quince años en el que surgen los cultivos transgénicos y se comercializan, es el mismo período en el que la productividad en la agricultura de México, tanto la modernizada (la que surge en los 60's con la Revolución Verde) como la menos tecnologizada (la que se basa en utilizar una yunta de bueyes, en usar la semilla que seleccionó el campesino, la agricultura temporalera, etc.), cayó dramáticamente, no porque no hayan tecnologías adecuadas para seguir produciendo, sino como consecuencia del dominio que hay en el mundo de las grandes economías sobre el libre comercio. Esto ha provocado que en México, que colinda con Estados Unidos (el país con la agricultura más poderosa del mundo desde hace más de 100 años) aumenten las importaciones, de tal modo que se importan más del 50 por ciento de los alimentos que consumimos, entre ellos el maíz.

Habría que preguntarse si va a crecer la producción agrícola si México introduce transgénicos, habría que preguntarse también si los millones de minifundistas temporales en el país van a poder utilizar transgénicos o si van a tener acceso a ellos. A esto yo respondería tajantemente que no. Lo que este tipo de productores necesitan en primera instancia, incluso utilizando sus semillas nativas, es el apoyo mínimo de crédito, de financiamiento, de asistencia técnica, de apoyo a la comercialización, de la existencia de precios de garantía que ya no hay.

México, en particular, no va a solucionar ningún problema con la siembra de cultivos



transgénicos, ni siquiera va a incrementar su producción de alimentos. Eso es una quimera y una falacia. El país anualmente está pagando intereses de su deuda externa alrededor de 30 000 millones de dólares. Además, sigue endeudándose al seguir comprando tecnología cada vez más cara como lo son las semillas transgénicas, que además es una tecnología que no se puede usar más que una vez al año. Planteada así la situación, el agricultor va a quedar amarrado totalmente a una empresa transnacional que lo va a tener realmente como cliente cautivo.

Argentina tiene un desarrollo de la agricultura comercial muy grande desde que se fundó como nación; es un país más grande que México y tiene extensiones muy grandes de tierras planas en donde se mecanizó la agricultura, prácticamente al mismo tiempo que Estados Unidos o la U.R.S.S. en los años 30's. Argentina ha sido uno de los mayores exportadores de productos agropecuarios. Probablemente, para los grandes productores de un país como este, tiene sentido el uso de transgénicos.

El agricultor estadounidense que siembra 100, 200 o 5000 hectáreas, lo puede hacer porque tienen toda su agricultura mecanizada, usan todos los insumos químicos, tienen un subsidio enorme por parte del Estado de su país, y sobre todo, tienen asegurado que van a vender su producción, lo cual es fundamental. La producción se vende exportándola a países como México con agriculturas que se han vuelto deficitarias, por lo que se ve forzado a importar cantidades crecientes de alimentos. O bien, la mercancía producida se envía mediante los programas llamados de ayuda a la humanidad a diversos países, actualmente a países de América Central. Finalmente, estos alimentos no son regalados, los gobiernos deciden esto en una forma como si fuera de "consignación", luego lo tienen que vender y pagar con dinero, o bien, privatizando sus empresas, aplicando ciertas políticas fiscales y demás, siguiendo las reglas de la OMC y todo lo que se llama Programas de Ajuste Estructural por parte del

Banco Mundial y del Fondo Monetario Internacional.

Por otro lado, existe algo que no suele ser analizado, las variedades transgénicas no están teniendo el resultado que se suele decir. En todo este campo hay una gran secrecía, un uso muy discrecional de información. Por ejemplo, en Estados Unidos existe la regla que indica que donde se coseche una planta transgénica debe dejarse el 20 por ciento de la superficie sin transgénicos para que exista un área de refugio donde puedan reproducirse los insectos que se combaten, de lo contrario, si no existiera un área así, aparecerían plagas resistentes como un mecanismo de adaptación biológica o selección natural, lo cual ocurre en el curso de cinco o seis generaciones (existe abundante literatura científica al respecto). Las agencias reguladoras estadounidenses han reportado que los agricultores no están respetando esto. Los resultados no son entonces los que se comunican.

Los biotecnólogos prometen mejorar la eficiencia del proceso de fotosíntesis en las plantas manipulando los genes. Uno se pregunta entonces cómo es posible que los biotecnólogos en unos cuantos años mejoren la eficiencia fotosintética de las plantas cuando la fotosíntesis lleva 3000 millones de años de evolución.

Está demostrado en diversas obras de investigación que el uso de muchas de las tecnologías modernas, como es el uso de hormonas artificiales, el uso de aditivos para los alimentos procesados, o bien, el uso de plaguicidas, han provocado muchos daños a la salud de las personas. En una obra publicada en los 70's, "El Festín Químico de los Alimentos", demuestran que muchos de los aditivos agregados por las compañías procesadoras de alimentos para hacerlos más atractivos, para darles color, consistencia, etc., son realmente cancerígenos. Lo mismo sucede con el uso de hormonas artificiales usadas desde el principio de los 40's.

El problema para quienes estudian las ciencias naturales o ciencias exactas es que en la forma típica de la educación se enseña únicamente lo que es el optimismo



tecnológico, se percibe al científico como una especie de ser divino que crea el conocimiento para beneficiar a la humanidad y que por ende, está exento de todo análisis de la historia efectiva de la aplicación tecnológica de la ciencia. Esta visión unilateral ha provocado que sólo se vea la parte meritoria, la parte que endiosa al científico y tecnólogo.

No todos los biotecnólogos o los científicos en general tienen actitudes indiferentes o egoístas, excepto cuando existe una fuerza institucional que los constriñe a que sus carreras como académicos tienen que seguir ciertos caminos, es decir, hay un proceso de encauzamiento social que fuerza al científico a seguir un cierto camino si quiere hacer carrera, si quiere ser financiado, si quiere ser publicado o si quiere ser reconocido. Usualmente atreverse a decir que hay mentiras, por ejemplo en el caso de la ciencia, implica un enfrentamiento con quien tiene poder.

Esto fue lo que sucedió con un joven científico mexicano, Ignacio Chapela, que estudió Biología en la Facultad de Ciencias. Él hizo su doctorado en la Universidad de California. En el 2001 publicó junto con un compañero suyo, David Quist, un artículo en *Nature*, en el que mostraba que maíces cultivados en México en localidades de Oaxaca y Puebla tenían contaminación de secuencias transgénicas. Como consecuencia de esto, me llegó un correo electrónico de Liza Covantes de Greenpeace en el que se denunciaba que la Universidad de California le había negado a Chapela la definitividad. Aunque no sé que sucedió finalmente.

Se sabe, así pues, que si los científicos no se alinean, tiene su costo. Esto mismo sucede en México. Por ello, es común ver la asimetría de posiciones que existe dentro de la misma comunidad científica, o bien, entre el científico con renombre y la gente común con educación universitaria, o más aún, entre el científico y el campesino. Difícilmente el biotecnólogo sabe cuáles son los medios de producción de un campesino temporalero, o cuánto dinero se maneja en su economía familiar, o con cuánto dinero cuenta para

financiar las modernas biotecnologías y qué necesita para producir aunque tenga dos o cuatro hectáreas.

Esto es algo realmente complicado, los biotecnólogos ven todo esto desde la perspectiva de que ellos están haciendo investigación científica válida, lo cual es entendible. No es que yo esté en contra de la Biotecnología, incluso los transgénicos aplicados a ciertas cosas pueden ser útiles, como puede ser la producción de insulina para el tratamiento de diabéticos. Hay estudios de cerdas transgénicas en cuya leche llevan insulina, aunque no sé si esto ya se llevó a la producción masiva. Se puede buscar una aplicación similar para la hormona del crecimiento.

El problema es que existen aplicaciones de ésto que son demasiado brutales y que pasan por encima de derechos humanos fundamentales, como puede ser la expropiación de la naturaleza o que criminalicen por guardar una semilla. Esto implica una relación autoritaria en la que el ciudadano deja de ser ciudadano y se convierte en un súbdito, porque finalmente son unos cuantos los que toman las decisiones que son importantes para el conjunto de la humanidad.

2. ¿Cree usted que los cultivos transgénicos destinados para consumo alimentario, una de las principales aplicaciones de la Biotecnología Moderna, son una de las mejores opciones que tiene México para lograr la seguridad alimentaria? ¿Existen otras alternativas?

Me voy a ubicar en Estados Unidos que tiene una agricultura con un excedente productivo gigantesco desde hace muchas décadas, y a pesar de ésto, es el país que más transgénicos cultiva. Sabemos que en ocasiones cientos de toneladas de los alimentos que se producen son arrojados al mar para que los precios no caigan. Por lo tanto, en el mundo no hay escasez de alimentos sino una pésima distribución. De hecho, la humanidad que tiene actualmente 6200 millones de personas



puede producir alimentos más que suficientes para alimentarnos a todos bien. No es un problema de tecnología, sino un problema de terrible desigualdad social.

Lo que uno encuentra en esto es un patrón de desplazamiento de las empresas grandes que desplazan a las empresas pequeñas. La producción de grandes volúmenes permite abaratar los costos y por lo tanto, los pequeños productores ya no están en condiciones de competir con los grandes productores.

Lo que se tiene entonces es que no todos los productores se benefician por igual de la tecnología. Las tecnologías son benéficas sobre todo para el productor en gran escala.

Por otro lado, entre menor es el número de productores que generan volúmenes de producción cada vez más grandes (la mecanización y automatización son mayores), la mano de obra utilizada es menor. Cuando hablo de mecanización no sólo me refiero a la utilización de máquinas agrícolas, sino tendríamos que pensar en unidades de producción, como algunas en Estados Unidos, que son grandes granjas de producción agroindustriales donde incluso, la producción está controlada por satélite con toda la informática relacionada.

Por lo tanto, debemos pensar no sólo si se producen grandes volúmenes de alimento sino cuántos productores lo están generando, porque cada unidad productiva da empleo a personas, es además parte de una estructura social. Es importante pensar cómo está organizado el proceso productivo. Así pues, en nuestro país, no es lo mismo un productor que sea dueño de 5000 hectáreas de riego con una agricultura altamente tecnologizada, como los productores de jitomate en Sinaloa (que de hecho, legalmente no se pueden tener 5000 hectáreas de riego), que un productor de 100 hectáreas de riego. El efecto de ambos productores en el entramado social o en la relaciones de producción es completamente diferente.

Estados Unidos produce tanto que, como ya se ha dicho, hasta tira alimentos para que no caigan los precios, incluso ha inundado con

sus productos el mercado de varios países. Por esto mismo, ha tenido problemas con países de la Unión Europea que no quieren comprar transgénicos a Estados Unidos, ha tenido también pleitos muy fuertes con Japón, que compra maíz a Estados Unidos, pero no transgénico. Tienen que hacerse en los puertos de embarque de Estados Unidos pruebas de biología molecular muy finas y eficientes para verificar que el maíz que no es transgénico.

Para un país como el nuestro, yo vería otra solución para la falta de alimentos. Como ya se había explicado anteriormente, el país no va a incrementar su producción de alimentos con la siembra de transgénicos. Eso es una quimera y una falacia. Toda tecnología, ya sea basada en fundamentos científicos o en conocimientos empíricos, es parte de una estructura social. Toda tecnología agrícola tiene, por lo tanto, consecuencias en la forma de tenencia de la tierra. Por lo tanto, no creo que sea necesario que nuestro país tenga que recurrir a estas tecnologías tan costosas en detrimento de un campo de por sí en profunda crisis, que se encuentra en un proceso de destrucción, de migración de millones de campesinos mexicanos. No habría que caer en la simplezas de los que afirman "una hectárea sembrada con soya transgénica produce 40 por ciento más que una hectárea sembrada con soya no transgénica", y entonces como es mayor la producción se da por hecho que los transgénicos son una buena opción. Pero no se habla de los costos totales, de las consecuencias en el entramado social, etc.

Si el gobierno mexicano, que supuestamente no tiene los recursos necesarios para apoyar las necesidades mayoritarias, destina el poco dinero que hay a apoyar a unos cuantos agricultores que podrían producir con transgénicos y siguen dejando en el abandono total a la mayoría de los campesinos, lo que se va a obtener como resultado, al cabo de unos pocos años, es un proceso de revolución social en el país.

México es un país actualmente neocolonizado por Estados Unidos, completamente



subordinado, lo cual se ha visto en todas las actitudes del gobierno mexicano, cerca del 88-90 por ciento de lo que exportamos se exporta a Estados Unidos, y el 50 por ciento de las importaciones de alimentos provienen de este mismo país. Por otro lado, se puede observar que la actitud de la mayoría de las naciones que tienen cierto grado de soberanía es de adoptar una posición propia, como sucede en Europa, en donde la mayoría de la población y de los Estados han mantenido una posición de no siembra de transgénicos, aunque sí se han sembrado en algunas ocasiones, tal es el caso del agricultor francés que actualmente se encuentra en la cárcel debido a que él junto con su organización "La Vía Campesina en Francia", destruyeron cultivos transgénicos y desmontaron un Mac Donalds. Considerando que estas cadenas de establecimientos de comida rápida así como los supermercados representan los mismos intereses, seguramente todos hemos ya consumido alimentos transgénicos sin saberlo; en la mayoría de los alimentos procesados hay algunos derivados de soya, de maíz, etc.

Existen tecnologías alternativas. Un ejemplo es la producción de café en México. México es el tercer o cuarto productor mundial de café. La mayor parte del café que se produce en el país es orgánico, en pequeñas parcelas de una a cinco hectáreas. La mayoría de los productores son indígenas y lo producen al estilo tradicional; para levantar la cosecha del arbusto se requiere de mucha mano de obra. Aquí se tiene a un productor exitoso, incluso, existen productores de Chiapas, de Veracruz, de Oaxaca que exportan a Europa café orgánico que es el más caro. Podemos entonces tener productores exitosos, pero con la caída del precio del café y sin el apoyo del Estado, que tienen que dejar echar a perder su producción.

Para plantear esta cuestión de la producción de alimentos transgénicos, tiene que pensarse de manera global. El productor estadounidense tiene todo el apoyo del Estado, hay una política internacional que ha ido forzando que se abran los mercados de las naciones dominadas; por ello el productor

estadounidense domina el mercado mundial, vende sus productos, exporta.

3. ¿Qué impactos sociales y/o económicos pueden generarse con la producción de alimentos transgénicos, en México específicamente?

- a. Impactos en los consumidores en general**
- b. Impactos en las comunidades campesinas**
- c. Impactos en las comunidades indígenas**

Pueblos indígenas:

Los pueblos indígenas luchan por recuperar el control de sus recursos naturales, en particular los recursos bióticos. No sólo hay una actitud mayoritaria entre ellos de absoluto rechazo a los transgénicos, sino también de defensa de sus propios recursos bióticos que son hoy saqueados por las mismas empresas transnacionales biotecnológicas, las cuales con el argumento de que están investigando, hacen lo que se ha llamado la piratería biológica.

Para estos pueblos indios que demandan la vigencia de los derechos humanos fundamentales, los transgénicos están fuera de su horizonte y de su interés. De hecho, ellos tienen una posición de antagonismo respecto al saqueo de sus recursos bióticos, entre otros.

Campesinos:

Los campesinos mestizos, campesinos indígenas, la mayoría de los agricultores mexicanos ni siquiera se han planteado que para su avance como productores la solución sean las cosechas transgénicas. De hecho, el proceso de introducción de nuevas tecnologías agrícolas siempre ha requerido del establecimiento de programas estatales. Mientras éstos no existan, como ya he mencionado, la introducción de transgénicos no representa ningún beneficio para la mayor parte de los productores agrícolas mexicanos, sino tal vez, lo contrario. La mayor parte de los campesinos en el país son pequeños productores que se verían desplazados por los



pequeños grupos de grandes productores, agudizándose la crisis en el campo mexicano. Por otro lado, debe considerarse que para la mayoría de los campesinos mexicanos, la tierra tiene un carácter sagrado, la pérdida de la tierra es, por lo tanto, algo terrible, y no sólo eso, se les está quitando toda su sabiduría. Los campesinos han cultivado la tierra por miles de años, conocen una gran variedad de cultivos y todo el proceso de cosecha. Producir es parte de la cultura, el campesino indígena no está pensando en hacer negocio con la agricultura, más bien la agricultura es una forma de integrarse con la naturaleza. Por lo tanto, si se le quita la tierra al campesino, se le quita incluso su mismo valor como ser humano, se le niega su existencia, su herencia cultural.

Consumidores:

Existen mecanismos para forzarnos a consumir lo que se produce. La relación que existe entre oferta y demanda no es la relación idealizada por las empresas capitalistas, en el sentido de que ellos plantean de que toda persona consume algo porque así lo demanda, el consumidor aparece como un ente que toma sus decisiones autónomas y que ejerce su derecho a elegir. Pero la realidad es que la producción determina el consumo. Consumimos lo que producen y lo que nos ponen en el mercado, aún si no queremos, tan es así que ya estamos consumiendo alimentos transgénicos. La mayor parte de las veces uno no sabe ni lo que consume, el consumo es ya un acto automático porque uno va a los centros de distribución de mercancías, y tal vez si se hace alguna elección a partir de todo un sistema de publicidad ya establecido, pero finalmente uno compra lo que hay, lo que se vende en el centro comercial.

En esta esfera del consumidor, incluyendo a las comunidades indígenas y productores, lo que hace mucha falta es que haya organización de los consumidores. Tendría que pensarse por qué millones de consumidores europeos no desean consumir transgénicos. Los consumidores europeos están realmente organizados, esto en parte a

que tienen mayor información y a que por otra parte, tienen mayor tradición de organización para defender sus intereses colectivos.

El problema es que el ejercicio del poder tiene un efecto muy pernicioso, poque el que está en contra de estas grandes compañías, se da por derrotado de antemano, pues la desventaja es muy grande y las dificultades que hay que superar son enormes. Esta es una actitud de fatalismo que es propia de los dominados.

En el caso del consumidor hay mucha falta de información, y ya no digamos en el caso de la gente común y corriente, sino los mismos biólogos, químicos o ingenieros en alimentos carecen de mucha información. Un alto porcentaje de ellos no tiene mucha idea de cómo se produce un organismo transgénico. Si esto es cierto por lo menos para una porción de los que son universitarios, para el consumidor en general la falta de información es aún mayor. No hay información.

Ahora bien, si uno piensa en lo que se produce como información diariamente en el país a través de la radio, la televisión, el periódico, etc., la presencia de análisis sobre alimentos transgénicos es prácticamente nula. La información es crucial porque tiene un efecto muy importante sobre la gente, es por ello que existe un control tan férreo de los medios electrónicos que son los que alcanzan a más gente. La gente norma su actitud en base a la información que recibe. Si la gente estuviera realmente bien informada, seguramente la actitud respecto al consumo cambiaría.

Como otro elemento importante en lo que se refiere a este asunto de los consumidores, pienso que es importante estudiar la historia de la aplicación de todas estas tecnologías de los procesos biológicos fundamentales. Son 60 años de estar aplicando tecnologías de este tipo. Existen obras literarias al respecto. Entonces, dados los efectos que han tenido, y considerando que no se trata de efectos hipotéticos sino de efectos reales, es posible evaluar la viabilidad de estas nuevas tecnologías. Es muy interesante hacer un ejercicio de analogía con las tecnologías



nucleares. Cuando se introdujeron estas tecnologías, el optimismo de quienes las impulsaban era tal, que incluso llegaron a decir que la cantidad de radiación que podrían producir las aplicaciones de la energía atómica y a la que estaban expuestos los ciudadanos era tan pequeña que hasta resultaba saludable, que de hecho, la cantidad de radiación que recibíamos por exposición a la radiación cósmica que atraviesa la atmósfera era mayor. Años después se percibieron los efectos negativos, tan es así, que en los últimos años ya no se han construido nuevas plantas nucleoelectricas (excepto Francia que tiene poco petróleo y se ha visto en la necesidad de mantener las nucleoelectricas). Una analogía del mismo tipo se puede hacer al analizar los efectos del uso de hormonas artificiales en mujeres, en vacunos, pollos y gallinas. Existe un libro al respecto que fue publicado a finales de los 80's, se llama "Cáncer a partir del bistec". Es un estudio muy detallado de un científico agrícola estadounidense formado en la Universidad de Iowa. El estudio muestra como desde la década de los 50's se introdujo para la engorda del ganado vacuno una hormona artificial que provocaba que la asimilación de los alimentos fuera más eficiente y por lo tanto la engorda era más rápida. Esta tecnología se utilizó por 20 años o más. Luego surgieron evidencias que la carne que se comía tenía residuos de hormonas y que ello podía tener un efecto en la salud y la gente podía desarrollar cáncer a causa de la carne que consumía. Fue entonces cuando salieron demandas legales en las Cortes de Estados Unidos contra los engordadores de ganado y los supermercados que vendían la carne. Se decidió por ley que la administración de esta hormona artificial debía ser por lo menos un mes antes de que el animal fuese sacrificado, el problema fue que esta ley nunca se cumplió. Entonces el autor analiza como se vendió el caso cuando se llevó a la Suprema Corte de Justicia, a pesar de que existían evidencias suficientes, incluso judicialmente se comprobó que las personas se estaban enfermando de cáncer a

consecuencia de consumir esta carne. Pero los engordadores de ganado y las compañías, entre ellas una farmacéutica muy famosa, *Eli Lilly*, que por cierto, se encuentra en México desde hace ya mucho tiempo, salieron ileos. Otro efecto de las hormonas en los alimentos procesados son cambios en la maduración sexual.

Con respecto a los alimentos transgénicos, a pesar de que no existen estudios sistemáticos sobre el efecto de éstos en la salud humana, existe suficientes pruebas o evidencias de que los transgénicos sí pueden ocasionar algún daño a la salud. Esto no se ha estudiado sistemáticamente porque no ha habido interés en financiar este tipo de estudios. Habría que preguntarse cuántos de los laboratorios líderes en Biotecnología, Bioquímica o Biología Molecular están haciendo investigaciones sobre qué efecto tiene el consumo de transgénicos en la salud humana. Entonces también hay carencia de información generada por el sector científico sobre cuáles son los efectos de los transgénicos.

Existen muchos ejemplos que demuestran el posible efecto dañino de los transgénicos en la salud. Hay estudios que han mostrado que vacas que fueron criadas con papa transgénica desarrollaron cáncer de hígado, a diferencia de aquellas vacas que fueron criadas con papa no transgénica. Existe un estudio también sobre el maíz *Bt* que apareció a finales del 2001 en *Nature*. En este estudio se demuestra que en el caso del maíz *Bt* la proteína es tóxica para las larvas de lepidóptero pues se produce en la hoja, en el polen, en la raíz, en todo. El autor de esta investigación mostró que al recoger esa proteína tóxica y al mantenerla en cajitas Petri donde tenía larvas de lepidóptero, esa proteína se mantuvo activa siendo venenosa para las larvas durante más de 200 días. Cabe considerar que la forma natural de esa proteína se desintegraría muy rápido, pero como es artificial, los microorganismos descomponedores al final de las cadenas trópicas no tienen las enzimas para descomponer la proteína tóxica, Esto muestra claramente que en un campo de maíz



transgénico va a quedar presente esta sustancia tóxica para cuya desintegración enzimática no tienen la mayoría de los organismos enzimas. Es una sustancia que va a permanecer en el ambiente por mucho tiempo.

Por otro lado, actualmente están utilizando plantas transgénicas como maíz para producir compuestos químicos que requiere la industria, es decir, son plantas que están generando moléculas que nada tienen que ver con la alimentación. Habría que preguntarse qué pasaría si se llegara a perder el control de este tipo de productos, cuáles serían las consecuencias en las naciones dominadas que no generaron estas tecnologías, cómo van a defenderse estas naciones de los efectos destructivos que pudieran generarse.

Habría que hablar también de los efectos de los transgénicos en el medio ambiente, está el problema de la contaminación de los maíces nativos mexicanos con secuencias transgénicas, lo cual puede causar una catástrofe ecológica.

Hay además un hecho interesante, la mayor parte de los alimentos transgénicos que está produciendo Estados Unidos los está exportando.

Existe al respecto de esta temática un libro publicado en este año, "Globalización de la pobreza", en el que el autor, un economista canadiense, cita como en varios países de África están llegando cargamentos de alimentos transgénicos que vienen de Estados Unidos. Se mandan allá sin que la gente africana sepa que son alimentos transgénicos, aunque claro, si la gente en estos países está padeciendo hambre, cualquier alimento es bienvenido. Habría que preguntarse entonces por qué no son etiquetados estos alimentos que se envían si son tan buenos como se ha dicho, por qué no se avisa que en los cargamentos de alimentos vienen productos transgénicos.

Yo diría que entonces, y para no exagerar, habría que aplicar el principio precautorio, es decir, si podemos generar en cantidades cuantiosas alimentos sanos, inocuos y naturales hasta donde sea posible, que

además sean amigables con el medio ambiente, no tiene ningún caso arriesgarse con los transgénicos. Esto es fundamental. Vale la pena preguntarse como consumidor por qué tener que ponerse en riesgo si igualmente pueden consumirse alimentos inocuos.

Habría que llamar a los investigadores que se dedican a esta área a que también hagan investigaciones sobre si efectivamente son o no inocuos los alimentos transgénicos.

Además, es obligación de las empresas productoras de transgénicos demostrar que estos productos no son dañinos, pues son las que tienen toda la infraestructura necesaria para ello.

4. ¿Qué opinión le merece el marco regulatorio en organismos genéticamente modificados que actualmente rige el mundo y el país? Respecto a la iniciativa de ley de bioseguridad aprobada recientemente por el senado, ¿qué opinión tiene usted?

La ley es un postulado que se supone que tiene que ser llevado a la práctica mediante la presencia del Poder Judicial que tiene que garantizar que las leyes se cumplan. Pero esto no sucede así en la realidad.

Según ha explicado María Colín, abogada de Greenpeace, la Ley de Bioseguridad es una ley de fomento a los transgénicos. El problema es que el Poder Legislativo legisla sin tomar en cuenta a la población, no hace consultas populares. Realmente no hace honor de su carácter como representantes de los ciudadanos.

Un punto débil que observo es la posición acrítica de la comunidad científica con respecto a la Bioseguridad. El problema es que es precisamente la comunidad científica la que tiene la voz autorizada para cuestionar la Biotecnología.

Por otro lado, la inmensa mayoría de la población está más preocupada por resolver otro tipo de problemas, lo que refuerza la actitud negativa del Poder Legislativo.

Habría que criticarse también los procesos para la aprobación de leyes en la Legislatura.



En casos específicos como este, la mayor parte de los legisladores tienen un conocimiento mínimo sobre lo que se legisla, en este caso, sobre la Biotecnología. El legislador no toma decisiones informadas ni autónomas. Hay además un conflicto de intereses donde se expresa muy claramente el vínculo del poder político con el poder económico.

Toda ley y todo reglamento es útil. El problema es que una cosa es la letra de la ley o reglamento, y otra cosa es que se lleve a la práctica. Mientras existan Estados que son la negación misma del Estado, que defienden el interés privado, será casi imposible que las leyes se lleven a cabo. Las leyes pasan entonces a ser un instrumento secundario.

La creencia de que un marco regulatorio va a resolver los problemas es realmente un dogma de fe. Esto conduce a que la gente no se responsabilice de sus propias obligaciones dentro de todo este proceso de discusión.

5. ¿Qué opinión tiene usted respecto al etiquetado?

Una prueba de que la gente si estuviera informada preferiría comer alimentos más saludables, y no los transgénicos, es que ha habido sistemáticamente una negativa por parte de las compañías a que se etiqueten los

alimentos transgénicos como tales. Este es un pleito que comenzó desde 1960 en los Estados Unidos con un producto que produce una gran transnacional, que es la Coca Cola, cuando los consumidores en este país en organizaciones de consumidores asesorados por científicos y con una red de representantes en varios estados de Estados Unidos, descubrieron por análisis bioquímicos que la Coca Cola contenía cafeína y entablaron un juicio ante la Suprema Corte de Justicia de Estados Unidos para que se obligara a estas compañías a poner en las botellas del refresco que ese producto contiene cafeína y por ello produce adicción. La Coca Cola, utilizando sus representantes políticos, ganó el juicio y a través de la FDA logró que se promulgara una Ley sobre bebidas gaseosas en la que se establece que toda bebida de Cola va a llevar cafeína. Lógicamente la mayoría de la gente desconoce el texto de esta ley, y por lo tanto, no sabe que la Coca Cola contiene cafeína.

Es así como este problema del etiquetado ha sido una batalla de largo alcance que sigue siendo perdida por el consumidor. Las compañías han ganado la batalla.

Cabría preguntarse porqué las multinacionales se oponen al etiquetado de los transgénicos si supuestamente son tan inocuos e incluso, si son mejores que los naturales.

IX. BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía Consultada:

- Academia Mexicana de Ciencias. (2002). *Marco regulatorio e institucional de la Biotecnología Moderna y la Bioseguridad (Nacional e Internacional)*. Síntesis Ejecutiva para la Comisión de Ciencia y Tecnología del Senado de la República, Ciudad de México, 11 de septiembre. Disponible en: www.conacyt.mx/dap/prog-trabajo-inst2003.pdf
- Aerni, P. (2001). *La Percepción Pública de la Biotecnología Agrícola en México*. Programa Ciencia, Tecnología e Innovación, Centro para el Desarrollo Internacional, Universidad de Harvard, Cambridge, julio. Disponible en: <http://www.iaw.agrl.ethz.ch/~aernip/PDF/Percepcion%20publica.pdf>
- Agriculture and Biotechnology Strategies (Canada) Inc. (2003). *Global Status of Approved Genetically Modified Plants*. Disponible en: http://www.agbios.com/_Synopsis.asp.
- Aken, J. (2000). *Centros de diversidad. La riqueza biológica de los cultivos tradicionales, herencia mundial amenazada por la contaminación genética*. Greenpeace México, Ciudad de México, pp. 64.
- Altieri, M. A. (2003_a). *Aspectos Socioculturales de la Diversidad del Maíz Nativo*. Documento elaborado para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte como parte de la iniciativa del artículo 13: Maíz y biodiversidad, efectos del maíz transgénico en México. Disponible en: www.cec.org/files/pdf/altieri-s.pdf
- Altieri, M. A. (2003_b). *Diez razones que explican por qué la biotecnología no garantizará la seguridad alimentaria, ni protegerá el ambiente, ni reducirá la pobreza en el tercer mundo*. Disponible en: <http://www.ecoportal.net/content/view/full/21131>
- Altieri, M. A. (2003_c). *Los Mitos de la Biotecnología Agrícola: Algunas Consideraciones Éticas*. Disponible en: <http://ww2.grn.es/avalls/mitos.htm>
- Álvarez, A. (2000). *Mexico: Ensuring Environmental Safety While Benefiting From Biotechnology*. Agricultural Biotechnology and the Poor: Proceedings of an International Conference, Wasington, DC, USA: 90-96. Disponible en: <http://www.cgiar.org/biotech/rep0100/Morales.pdf>
- Álvarez-Buylla, E. (2002). *Impacto y riesgos de la biotecnología agrícola*. Conclusiones del Taller Internacional Pugwash, Ciudad de México, 28-31 de mayo. Disponible en: <http://www.ecoportal.net/noti02/n218.htm>
- Álvarez-Buylla, E. (2003). *Aspectos Ecológicos, Biológicos y de Agrobiodiversidad de los Impactos del Maíz Transgénico*. Documento elaborado para el Secretariado de la Comisión



para la Cooperación Ambiental de América del Norte como parte de la iniciativa del artículo 13: Maíz y biodiversidad, efectos del maíz transgénico en México. Disponible en: <http://www.cec.org/files/PDF//Alvarez-Buylla-s.pdf>

- Anónimo₁. (2002). Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM—FITO/ECOL-2002. Importación, movilización y liberación al ambiente en programas piloto y con fines comerciales de organismos genéticamente modificados destinados al uso agrícola. Disponible en: <http://www.cofemermir.org/uploadtests/2023.59.59.1.proyectoconjunto180402ultima.doc>
- Anónimo₂. (2003). Decreto Promulgatorio del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado en Montreal, el veintinueve de enero de dos mil. Disponible en: <http://www.cddhcu.gob.mx/leyinfo/regla/13.PDF>
- Anónimo₃. (2003). Iniciativa de ley de Bioseguridad de los organismos genéticamente modificados. Disponible en: <http://www.prd.senado.gob.mx/cm/up/archivos/221/VERSION%20DEFINITIVA%20inic%20ey%20BIOSEGURIDAD%20OGMS%2012%20NOV%202002.doc>
- Anónimo₄. (2003_a). Reglamento (CE) No 1829/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2003 sobre alimentos y piensos modificados genéticamente. Disponible en: [http://www.agrodigital.com/UPLOAD/l_26820031018es00010023\[1\].pdf](http://www.agrodigital.com/UPLOAD/l_26820031018es00010023[1].pdf)
- Anónimo₄. (2003_b). Reglamento (CE) No 1830/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2003 relativo a la trazabilidad y al etiquetado de organismos modificados genéticamente y a la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos, y por el que se modifica la Directiva 2001/18/CE. Disponible en: [http://www.agrodigital.com/UPLOAD/l_26820031018es00240028\[1\].pdf](http://www.agrodigital.com/UPLOAD/l_26820031018es00240028[1].pdf)
- Anónimo₄. (2004). Reglamento (CE) No 65/2004 de la Comisión de 14 de enero de 2004 por el que se establece un sistema de creación y asignación de identificadores únicos a los organismos modificados genéticamente. Disponible en: <http://www.fundacion-antama.org/files/Reglamento%20Identificadores%20OMG.pdf>
- Anónimo₅. (2004). Requisitos de Documentación para Organismos Vivos Modificados para Alimentación, Forraje o para Procesamiento OVM /AFP. Disponible en: <http://www.cibogem.gob.mx/normatividad/Documento%20Trilateral/Trilat-arrgmt%20Esp.htm>



- Ávila, M. N., Mejía, R., Monroy, L. M., Pilloni, L. (2003). *Reflexiones acerca del Tronco Común Socio-Político y la Multidisciplina en la ENEP Acatlán*. Documento elaborado para la Comisión Especial para el Congreso Universitario como parte de los Seminarios Locales de Diagnóstico. ENEP Acatlán, 23 de abril. Disponible en: <http://www.congreso.unam.mx/ponsemloc/ponencias/1385.html>
- Bartolomé, B. (2001). "Alimentos Transgénicos: por qué y cómo se desarrollan". *Alergología e Inmunología Clínica*, **16**(Ext. 2): 137-157.
- Bermejo, I. (2001). "Patentes Biotecnológicas". *El Ecologista*, 18-21.
- Bindslev-Jensen, C., Poulsen, L.K. (1997). "Hazards of unintentional/intentional introduction of allergens into foods". *Allergy*, **52**: 1184-1186.
- Bouisa, H.E., Chassy, B.M., Ochandac, I.O. (2003). "Genetically modified food crops and their contribution to human nutrition and food quality". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 191-209.
- Bourges, H., Lehrer, S. (2004). *Chapter 71: Assessment of Human Health Effects*. Documento elaborado como parte del informe preliminar del Artículo 13: Maíz y Biodiversidad: Efectos del Maíz Transgénico en México. Symposium público, Oaxaca, marzo. Disponible en: http://www.cec.org/files/PDF//Maize-Biodiversity-Chapter7_en.pdf
- Byong, L. (2000). *Fundamentos de Biotecnología de los Alimentos*. ACRIBIA, Zaragoza, pp. 475.
- Byrne, P., Ward, S., Harrington, J. (2002). *Cultivos Transgénicos: Introducción y Guía a Recursos*. Universidad de Colorado. Disponible en: <http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/index.html>
- Byrne, P., Ward, S., Harrington, J. (2003). *Cultivos Transgénicos: Introducción y Guía a Recursos*. Universidad de Colorado. Disponible en: <http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/index.html>
- Carullo, J. C. (2002). *La adecuación de los Países al Protocolo de Cartagena: ejemplos latinoamericanos*. Red Regional de Bioseguridad (RN-Bio), Universidad de las Naciones Unidas, Tokio, pp. 53. Disponible en: <http://www.rnbio.net/pdf/cuadernilloprotocolodecartagena.pdf>
- CECCAM, CENAMI, Grupo ETC, CASIFOP, UNOSJO, AJAGI. (2003)_a. "Contaminación transgénica del maíz en México: mucho más grave". *Boletín de Prensa Colectivo*, 9 de octubre.



- CECCAM, CENAMI, Grupo ETC, CASIFOP, UNOSJO, AJAGI. (2003)_b. "La contaminación transgénica del maíz campesino en México. Documento de antecedentes". *Boletín de Prensa Colectivo*, octubre.
- Cereijo, M. (2002). *Con la comida... ¡No se juega!*. Disponible en: <http://www.biodiversidadla.org/article/articleview/987/1/10/>
- Cereijo, M. (2003). *Advertencia a los agricultores: Cuando las barbas de Percy veas cortar, pon las tuyas a remojar*. Disponible en: <http://www.ecoportal.net/content/view/full/21125>
- Comisión del Codex Alimentarius. (2003). *Informe de la cuarta reunión del grupo de acción intergubernamental especial del Codex sobre alimentos obtenidos por métodos biotecnológicos (ALINORM 03/34A)*. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/codex/alinorm03/al0334As.pdf>
- Comisión Federal de Mejora Regulatoria. (2002). *Formulario MIR para el anteproyecto: Anteproyecto de la Norma Oficial Mexicana NOM.FITO/ECOL-2002 Importación, Movilización y Liberación al Ambiente en Programas Piloto y con Fines Comerciales de Organismos Genéticamente Modificados Destinados al Uso Agrícola*. Disponible en: <http://www.cofemermir.org/crLecAnte.asp?seccionID=P3&submitid=2023>
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. (2002_a). *¿Qué es la CIBIOGEM?*. CIBIOGEM, Ciudad de México, pp. 31. Disponible en: <http://www.cibiogem.gob.mx/>
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. (2002_b). *Marco Regulatorio en Organismos Genéticamente Modificados*. CIBIOGEM, Ciudad de México, pp. 31. Disponible en: <http://www.cibiogem.gob.mx/>
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. (2004_a). *Análisis de los Ensayos de Productos Transgénicos, llevados a cabo en México de 1988 al 2003*. Bases de datos. Disponible en: http://www.cibiogem.gob.mx/bases_datos/bases_datos.html
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. (2004_b). Comunicado de Prensa, Ciudad de México, 13 de febrero. Disponible en: <http://www.cibiogem.gob.mx/noticias/2003/agosto/index.html>
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. (2004_c). *Normatividad en materia de Bioseguridad*. Disponible en: <http://www.cibiogem.gob.mx/normatividad/introduccion.html>



- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados. (2004_a). *Productos biotecnológicos para consumo humano que se han evaluado y aceptado para su comercialización en México*. Bases de datos. Disponible en: http://www.cibiogem.gob.mx/bases_datos/bases_datos.html
- Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. (2003). *Culmina bosquejo de un informe independiente sobre el maíz*. Comunicado de prensa, Montreal, 22 de diciembre. Disponible en: <http://www.cec.org/news/details/index.cfm?varlan=espanol&ID=2585>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2004). "Aún cuando se detectaron transgenes en muestras de maíz de Oaxaca y Puebla, la presencia de estos disminuye con el paso del tiempo y no tiene evidencia científica de que represente un riesgo a la salud humana, a los cultivos básicos o a la biodiversidad de nuestro país". Comunicado de Prensa, Ciudad de México, 13 de febrero.
- Convention on Biological Diversity. (2003). *Status of Ratification and Entry into force*. Disponible en: <http://www.biodiv.org/biosafety/signinglist.aspx?sts=rtf&ord=dt>
- Cornell University. (2003). *GE Foods in the Market*. Disponible en: <http://www.comm.cornell.edu/gmo/crops/eating.html>.
- De Ita, A. (2002_a). "Alianza para Monsanto". *La Jornada*, 1° de junio.
- De Ita, A. (2002_b). "Diconsa en la contaminación transgénica de maíz nativo". *La Jornada*, 16 de marzo.
- Delgado, G. C. (2002). *La amenaza biológica*. Plaza & Janés, Ciudad de México, pp. 454.
- Delgado, G.C. (2003). *Medio Ambiente, Salud y Seguridad Alimentaria en la era de los Transgénicos*. Disponible en: http://www.ecoportel.net/articulos/era_trans.htm
- Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2003). *GM crop farm scale evaluation results published today*. News Release, 16 de octubre. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/news/2003/031016b.htm>
- Enciso, A. (2002). "Sí hay transgenes en grano oaxaqueño: CONABIO". *La Jornada*, 2 de mayo.
- Enciso, A. (2003). "Experto llama a aprobar ley sobre uso de transgénicos". *La Jornada*, 14 de agosto
- Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act y Scientific Advisory Panel. (2001). *SAP Report No. 2001-09: Assessment of Additional Scientific Information Concerning StarLink™*



- Corn*. Reporte de la reunión del Grupo Asesor Científico de la EPA, Arlington, Virginia, 17-18 de julio. Disponible en: <http://www.epa.gov/scipoly/sap/2001/july/julyfinal.pdf>.
- Fernández, M. (2003). "Código de barras para detectar transgénicos". *Diario de la Seguridad Alimentaria: consumaseguridad.com*, 1 de abril. Disponible en: <http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2003/04/01/5770.php>
 - Frewer, L. (2003). "Societal issues and public attitudes towards genetically modified foods". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 319–332.
 - Fuentes, V. (2003). "Aprueba el Gobierno uso de transgénicos". *Reforma*, 13 de enero.
 - Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación. (2003_a). *Entran en vigor etiquetado OGM cerca del fin de la moratoria*, 7 de noviembre. Disponible en: <http://www.fundacion-antama.org/>
 - Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación. (2003_b). *La Unión Europea lamenta la reclamación de Estados Unidos ante la OMC por la moratoria*, 14 de agosto. Disponible en: <http://www.fundacion-antama.org/>
 - Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación. (2003_c). *El Parlamento Europeo aprueba los reglamentos sobre trazabilidad y etiquetado de OMGs*, 4 de junio. Disponible en: <http://www.fundacion-antama.org/>
 - Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación. (2003_d). *La Royal Society publica los resultados del Farm Scale Evaluations*, 17 de marzo. Disponible en: <http://www.fundacion-antama.org/>
 - Fundación para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en la Agricultura, el Medio Ambiente y la Alimentación. (2004). *CE propone fin de moratoria a transgénicos como defensa ante OMC*, 30 de enero. Disponible en: <http://www.fundacion-antama.org/>
 - Gálvez, A. (2002). *El Sistema Mexicano: Una perspectiva Científica*. Trabajo presentado en el seminario-taller: Bioseguridad, un marco Jurídico para Chile, Facultad de Derecho, Universidad de Chile, Santiago, 19-21 de marzo. Disponible en: <http://www.derecho.uchile.cl/cda/documentos/archivos/ponencias/Mexico%20Amanda%20Gálvez.pdf>
 - Gálvez, A., Díaz, C. (2000). *Etiquetado de Alimentos Transgénicos*. Foro Virtual Simbiosis, Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 4-6 de diciembre. Disponible en: <http://www.simbiosis.unam.mx/transgenicos/2oForo.htm>



- Garza, C., Stover, P. (2003). "General introduction: The role of science in identifying common ground in the debate on genetic modification of foods". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 182–190.
- Grace, E. (1998). *La biotecnología al desnudo*. Anagrama, Barcelona, pp. 299.
- Greenpeace México. (2001). *Productos que contienen organismos modificados genéticamente o sus derivados*. Disponible en: <http://host22.hrwebservices.net/~greenpe/php/gp.php?target=%2F%7Egreenpe%2Fphp%2Fcamp.php%3Fc%3Dtrans>
- Greenpeace México. (2003). "Reconoce Comisión Europea de parlamentarios impacto ambiental de cultivos transgénicos". *Boletín de Prensa*, **374**, 23 de octubre.
- Hammond, B.G., Vicini, J.L., Hartnell, G.F. (1996). "The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance". *Journal of Nutrition*, **126**: 717-27.
- Hermeto, J. (1999). "Los organismos transgénicos: peligro para la agricultura sustentable". *La Jornada*, 28 de julio.
- Iáñez, E. (2000). *Más allá de la revolución verde ¿Un papel para la biotecnología?*. Disponible en: <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/agricultura.htm>
- Instituto Nacional de Ecología. (2001). "Confirma SEMARNAT presencia de transgénicos". Comunicado de Prensa, Ciudad de México, 18 de septiembre.
- James, C. (2002). *Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops:2002*. ISAAA Briefs No.27. ISAAA: Ithaca, NY. Disponible en: <http://www.grain.org/docs/isaaa-gm-status-2002-en.pdf>
- James, C. (2003). *Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003*. ISAAA Briefs No. 30. ISAAA: Ithaca, NY. Disponible en: http://www.isaaa.org/kc/CBTNews/press_release/briefs30/es_b30.pdf
- Johnson-Green, P. (2002). *Introduction to Food Biotechnology*. CRC Press, Estados Unidos de América, pp. 293.
- Klaus, G., Bredahl, L., Scholderer, J. (2003). "Four questions on European consumers attitudes toward the use of genetic modification in food production". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **4**(4): 435-445.
- Kleter, G.A., Kuiper, H.A. (2002). "Considerations for the assessment of the safety of genetically modified animals used for human food or animal feed". *Livestock Production Science*, **74**(83): 275-285.



- Kohli, A., Griffiths, S., Palacios, N., Twyman, R.M., Vain, P., Laurie, D.A., Christou, P. (1999). "Molecular characterization of transforming plasmid rearrangements in transgenic rice reveals a recombination hotspot in the CaMV 35S promoter and confirms the predominance of microhomology mediated recombination". *The Plant Journal*, **17**(6): 591-601.
- Kuiper, H.A., Kleter, G.A. (2003). "The scientific basis for risk assessment and regulation of genetically modified foods". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 277-293.
- Kuiper, H.A., Kleter, G.A., Noteborn, H.P.J.M., Kok, E. (2002). "Substantial equivalence-an appropriate paradigm for the safety assessment of genetically modified foods?". *Toxicology*, **181-182**(27): 427-431.
- Kuiper, H.A., Noteborn, H.P.J.M., Peijnenburg, A.A.C.M. (1999). "Adequacy of methods for testing the safety of genetically modified foods". *The Lancet*, **354**:1315-1316.
- Lappe, M., Bailey, B. (1999). "Against the grain: Biotechnology and the corporate takeover of your food". Disponible en: <http://www.biotech-info.net/phytoestrogens.html>
- Larson, J. (2002). "Transgénicos: ciencia y ciudadanía". *Biodiversitas, publicación de la CONABIO*, **34**, 23 de diciembre.
- Line, Ch., Herrmann, H. (2003). *Maíz y Biodiversidad, efectos del maíz transgénico en México*. Documento elaborado como parte de la iniciativa del artículo 13: Maíz y biodiversidad, efectos del maíz transgénico en México. Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. Disponible en: http://www.cec.org/files/pdf/Issue_Summary-s.pdf
- Lodish, H., Darnel, J., Berk, A., Matsudaira, P., Baltimore, D. (2002). *Biología Celular y Molecular*. 4ª ed., Panamericana, España, pp. 1084.
- López, A. (2001). *Políticas y Legislación sobre Bioseguridad Agrícola en México y la Percepción de la Sociedad*. Disponible en: <http://www.redbio.org/rdominicana/inforedbio/materiales%20en%20bioseguridad/documentos%20en%20bioseguridad/Estado%20de%20la%20Bioseguridad%20en%20mexico.pdf>
- Lund, D. (2004). "¿Y usted sabía que la Biotecnología...?". *Investigación y Desarrollo, suplemento de La Jornada*, enero.
- Magnusson, M.K., Koivisto Hursti, U.K. (2002). "Consumer attitudes towards genetically modified foods". *Appetite*, **39**(1): 9-24.
- McKeon, T.A. (2003). "Genetically modified crops for industrial products and processes and their effects on human health". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 229-241.



- Méndez, S. y Ceccon, E. (2004). "Los efectos potenciales de los productos agrícolas transgénicos sobre los ecosistemas naturales". *Agua y Desarrollo Sustentable*, **1**(11).
- Metcalf, D.D., Astwood, J.D., Townsend, R., Sampson, H.A., Taylor, S.L., Fuchs, R.L. (1996). "Assessment of the allergenic potential of foods derived from genetically engineered crop plants". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **36**(5): 5165-5186.
- Mucci, A., Hough, G. (2004). "Perceptions of genetically modified foods by consumers in Argentina". *Food Quality and Preference*, **15**(1): 43-51.
- Nadal, A. (2001). "Maíz: la amenaza transgénica". *La Jornada*, 5 de diciembre.
- Nielsen, Ch. P., Thierfelder, K., Robinson, S. (2003). "Consumer preferences and trade in genetically modified foods". *Journal of Policy Modeling*, **25**(8): 777-794.
- Olvera, A. (2001). *Alimentos transgénicos, Biotecnología y Polémica*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, pp. 171.
- O'Neil, C., Reese, G., Lehrer, S.B. (1998). "Allergenic potential of recombinant food proteins". *Allergy and Clinical Immunology International*, **10**: 5-9.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2004). *Datos Agrícolas de FAOSTAT*. Disponible en:
<http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agriculture&language=ES>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2001). *Los organismos modificados genéticamente, los consumidores, la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente*. Estudios FAO: Cuestiones de ética. Grupo Editorial, Dirección de Información de la FAO, Roma. Disponible en:
<http://www.fao.org/DOCREP/003/X9602S/x9602s00.htm#TopOfPage>
- Organización Mundial de la Salud / Organización Mundial del Comercio. (2002). *Los acuerdos de la OMC y la Salud Pública*. Un estudio conjunto de la OMS y la Secretaría de la OMC. Disponible en: http://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/who_wto_s.pdf
- Ortiz, S. (Instituto Nacional de Ecología). (2002). *Los Organismos Genéticamente Modificados y el Análisis de Riesgos. Un estudio de caso: el maíz en México*. Trabajo presentado para NAPRO PRA Symposium, Puerto Vallarta, marzo. Disponible en: <http://www.nappo.org/PRA-Symposium/PDF-Final/Ortiz.pdf>
- Otsuka, Y. (2003). "Socioeconomic considerations relevant to the sustainable development, use and control of genetically modified foods". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 294-318.



- Padgett, S.R., Taylor, N.B., Nida, D.L., Bailey, M.R., MacDonald, J., Holden, L.R., Fuchs, R.L. (1996). "The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans". *Journal of Nutrition*, **126**: 702-716.
- Pengue, W. (2000). *Cultivos transgénicos, ¿hacia dónde vamos?*. Lugar Editorial, Buenos Aires, pp. 190.
- Pérez, M. (2004). "Con Canadá y Estados Unidos se signó *arreglo* no acuerdo sobre transgénicos: Villalobos". *La Jornada*, 14 de febrero.
- Powell, D. (1999). *Cauliflower Mosaic Virus Promoter: Potential Risks*. Disponible en: <http://www.foodsafetynetwork.ca/gmo/camv35s/camv35s.htm>
- Pusztai, A. (2001). "Alimentos Genéticamente Modificados: ¿Son un Riesgo para la Salud Animal o Humana?". Disponible en www.actionbioscience.org
- Quist, D., Chapela, I. (2001). "Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico". *Nature*, **413**: 541-543
- Quist, D., Chapela, I. (2002). "Quist and Chapela reply". *Nature*, **416**: 602
- Riitchev, F.J. (2002). *Estadística para las Ciencias Sociales*. McGraw-Hill, México, pp. 609.
- Roig, D. (2000) "Health risks of genetically modified foods: Many opinions but few data". *Science*, **288**: 1748-1749.
- Rowe, G. (2004). "How can genetically modified foods be made publicly acceptable". *Trends in Biotechnology*, **22**(3): 107-109.
- Royal Society of London, Academia de Ciencias de Brasil, Academia de Ciencias de China, Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Academia Mexicana de Ciencias, Academia Nacional de Ciencias de la India, U.S. National Academy of Sciences. (2000). *Las Plantas Transgénicas y la Agricultura Mundial*. Disponible en: <http://lapaz.usembassy.gov/biotechnology/plantas%20transgenicas.pdf>
- Rudiño, L. (2003). "México: suspenden la moratoria a la siembra experimental de maíz transgénico". *El Financiero*, 6 de noviembre.
- SAGPyA. (2003). *Consultas sobre la Biotecnología en la Argentina (Percepción Pública)*. Investigación llevada a cabo como parte del Proyecto UNEP-GEF sobre la Evaluación del Marco Nacional de Bioseguridad, marzo-abril. Disponible en: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/documentos/pdf/ConsultasPercepcionPublica.pdf>
- Salazar, M. (2003). "Sustentabilidad y Desarrollo". *UNAM Comunidad, Órgano Informativo de la Facultad e Estudios Superiores Cuautitlan*, 30 de enero.



- Sánchez, Ma. R. (1995). *Impactos Sociales de la Biotecnología*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Lerko Print, Madrid, pp. 427.
- Sandermann, H., Wellmann, E. (1988). "Risikobewertung der kunstlichen herbizidresistenz". *Biologische Sicherheit*, **1**: 285-292.
- Sang, H. (2003). "Genetically modified livestock and poultry and their potential effects on human health and nutrition". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 253-263.
- Sayol, M. (1998). *Fundamentos y Técnicas de Análisis Bioquímico*. Donostiarra, San Sebastián, pp. 301.
- Scragg, A. (2001). *Biotecnología Medioambiental*. ACRIBIA, Zaragoza, pp. 307.
- Schilter, B., Constable, A. (2002). "Regulatory control of genetically modified (GM) foods: likely developments". *Toxicology Letters*, **127**(1-3): 341-349.
- Schubert, R., Hohlweg, U., Renz, D., Doerfler, W. (1997) "On the fate of orally ingested DNA in mice: chromosomal association and placental transmission to the fetus". *Molecular and General Genetics*, **259**: 569-576.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2000). *Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica: textos y anexos*. Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Disponible en: <http://www.cibiogem.gob.mx/>
- Servicio de Información de la Red de Bioseguridad del Tercer Mundo. (2003). *Impacto económico y ambiental de cultivos de primera generación modificados genéticamente: lecciones desde Estados Unidos*. Disponible en: <http://www.biodiversidadla.org/article/articleview/3706/1/10/>
- Shalhevet, S., Haruvy, N., Spharim, I. (2001). Management strategies for agricultural biotechnology in small countries: A case study of Israel. *Biotechnology Advances*, **19**(7): 539-554.
- Soberón, F. X. (1996). *La Ingeniería Genética y la nueva Biotecnología*. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 181.
- Soil Association. (2002). *Las semillas de la duda: experiencia de agricultores de América del Norte con cultivos modificados genéticamente*. Disponible en: www.soilassociation.org
- Solleiro, J.L. (2004). *Propiedad Intelectual y su Impacto en la Difusión de la Biotecnología*. Global Biotechnology Forum, Bioindustries in Development, Concepción,. Disponible en: www.conicit.go.cr/propiedad_intelectual/JL_solleiro.pdf
- Tamarin, R. H. (1996). *Principios de Genética*. Reverté, Barcelona, pp. 607.



- Taylor, S.L., Hefle, S.L. (2001). "Will genetically modified foods be allergenic?". *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **107**(5): 765-771.
- Thomas, K., Aalbers, M., Bannon, G.A., Bartels, M., Dearman, R.J., Esdaile, D.J., Fu, T.J., Glatt, C.M., Hadfield, N., Hatzos, C., Hefle, S.L., Heylings, J.R., Goodman, R.E., Hemry, B., Herouet, C., Holsapple, M., Ladics, G.S., Landry, T.D., MacIntosh, S.C., Rice, E.A., Privalle, L.S., Steiner, H.Y., Teshima, R., Ree, R. van, Woolhiser, M., Zawodny, J. (2004). "A multi-laboratory evaluation of a common in vitro pepsin digestion assay protocol used in assessing the safety of novel proteins". *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. En prensa.
- Thomson, J. (2003). "Genetically modified food crops for improving agricultural practice and their effects on human health". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 210-228.
- Toledo, V.M. (2003). *Ecología, espiritualidad y conocimiento*. Grupo Editorial Formato, México, pp.146.
- Trigo, E.J., Traxler, G., Pray, C.E., Echeverría, R.G. (2002). *Biotecnología Agrícola y Desarrollo Rural en América Latina y el Caribe: Implicaciones para el financiamiento del BID*. Informe técnico de referencia para la Estrategia de Desarrollo Agrícola del BID, Washington, D.C., septiembre. Disponible en: <http://www.fao.org/biotech/index.asp?lang=es>
- Trilly, Y., Burgeois, C. (2002). *Tecnología de las hortalizas*. ACRIBIA, Zaragoza, pp. 591.
- United States Department of Agriculture. (1999). *Genetically Engineered Crops for Pest Management*. USDA Economic Research Service, Washington, DC. Disponible en: <http://www.ers.usda.gov/publications/aer786/aer786.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2002_a). "Insuficiente el conocimiento para evaluar los riesgos de los transgénicos: los expertos". *Boletín UNAM-DGCS*, **977**, 28 de noviembre.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2002_b). "Sigue la Polémica acerca del uso de productos modificados genéticamente". *Boletín UNAM-DGCS*, **974**, 27 de noviembre.
- Uzogara, S. (2000). "The impact of genetic modification of human foods in the 21st century: A review". *Biotechnology Advances*, **18**(3): 179-206.
- Vaughan, S. (2003). *Valoración económica y temas relacionados con el comercio*. Documento elaborado para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte como parte de la iniciativa del artículo 13: Maíz y biodiversidad, efectos del maíz transgénico en México. Disponible en: <http://www.cec.org/files/pdf/Vaughan-s.pdf>



- Wright, von A., Bruce, A. "Genetically modified microorganisms and their potential effects on human health and nutrition". *Trends in Food Science & Technology*, **14**: 264–276.
- Zinn, R. (2001). *México, biodiversidad y los transgénicos*. II Foro Xelajú. Disponible en: <http://usuarios.lycos.es/xelaju/xela21.htm>

SITIOS INTERNET:

- Agriculture and Biotechnology Strategies (Canada) Inc.
<http://www.agbios.com/main.php>
- AgroBio México
<http://www.agrobiomexico.org>
- Biodiversidad en América Latina
<http://www.biodiversidadla.org>
- Biotecnología para la Salud AMGEN
<http://biotec.amgen.es>
- Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER)
<http://www.cofemermir.org>
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Alimentos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM)
<http://cibiogem.gob.mx>
- Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria
<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/programas/conabi>
- Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO)
<http://www.conabio.gob.mx>
- Cultivos Transgénicos: Introducción y Guía a Recursos. Universidad de Colorado
<http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/index.html>
- Ecoportal.net: El Directorio Ecológico y Natural
<http://www.ecoportal.net>
- El Maíz y la Biodiversidad: Efectos del maíz transgénico en México. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte
<http://www.cec.org/maize/index.cfm?varlan=espanol>
- Fundación para la aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura, el medio ambiente y la alimentación (ANTAMA)
<http://www.fundacion-antama.org>



- Greenpeace México
<http://www.greenpeace.org.mx>
- Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, antes RAFI (Rural Advancement Foundation)
<http://www.etcgroup.org>
- Grupo Reforma
<http://www.reforma.com>
- Instituto Nacional de Ecología
<http://www.ine.gob.mx>
- La Jornada
<http://www.jornada.unam.mx>
- La Biotecnología en la Alimentación y en la Agricultura (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)
<http://www.fao.org/biotech/index.asp?lang=es>
- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe
<http://www.rlc.fao.org>
- ¿Por qué Biotecnología?
<http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.asp>
- REDBIO/FAO: Red de Cooperación Técnica en Biotecnología Vegetal para América Latina y el Caribe
<http://www.redbio.org/>
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica
<http://www.biodiv.org>
<http://www.cdb.org>
- Senado de la República
<http://www..senado.gob.mx>
- Servicio Internacional para la adopción de aplicaciones de Agricultura y Biotecnología
<http://www.isaaa.org>
- United Nation Environmental Program (UNEP)
<http://www.unep.ch/biosafety>