

00528
64



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ALIMENTOS MODIFICADOS GENETICAMENTE. RIESGO
O BENEFICIO PARA LA HUMANIDAD.

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICA DE ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ISABEL MIRALLES ESCOBAR



MEXICO D.F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2003

A



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.

Jurado asignado:

Presidente

Prof. Pedro Valle Vega

Vocal

Prof. Eduardo Bárzana García

Secretario

Prof. Miguel Ángel Hidalgo Torres

1er sup.

Profa. Lucía Cornejo Barrera

2do sup.

Prof. Francisco Ruiz Terán

Sitio donde se desarrolló el tema:

Facultad de Química UNAM

Asesor de esta tesis:


Pedro Valle Vega

Sustentante:


Isabel Miralles Escobar

INDICE

	página
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- ORGANISMOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE	4
2.1 Aspectos generales sobre biotecnología	4
2.2 Elementos básicos de la tecnología del ADN recombinante (ADNr)	10
2.3 Métodos de transformación genética para la obtención de plantas transgénicas	17
2.3.1 Técnicas con base en vectores	17
2.3.2 Técnicas <i>in vitro</i>	22
2.4 Estrategias utilizadas para lograr obtener los fenotipos deseados	25
III.- APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DEL ADN _r EN ALIMENTOS DE CONSUMO HUMANO Y EN ORGANISMOS INVOLUCRADOS EN SU PROCESAMIENTO	27
3.1 Cultivos resistentes a herbicidas	27
3.2 Cultivos resistentes a insectos	29
3.3 Cultivos resistentes a enfermedades	31
3.4 Maduración controlada de frutos	32
3.5 Mejora de la calidad nutrimental de los alimentos	34
3.6 Cultivos resistentes al estrés abiótico	36
3.7 Cultivos con mayor rendimiento	39
3.8 Alimentos con propiedades terapéuticas	41
3.9 Mejora genética de microorganismos y enzimas	42

	página
3.10 Principales características genéticas introducidas en los cultivos a nivel mundial	43
3.11 Principales países productores y comercializadores de alimentos transgénicos a nivel mundial	43
3.12 Producción y comercialización de alimentos transgénicos en México	44
IV.- BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA DEL ADN ^r APLICADA A LOS ALIMENTOS	53
4.1 Beneficios para la agricultura	53
4.1.1 Control más efectivo de insectos, malezas y enfermedades	53
4.1.2 Mejora del rendimiento de los cultivos	59
4.1.3 Tolerancia al estrés abiótico	62
4.1.4 Mejora en la vida útil de frutas y vegetales frescos	63
4.2 Beneficios para la salud	63
4.2.1 Mejora en la inocuidad de los alimentos	63
4.2.2 Creación de alimentos con propiedades terapéuticas	64
4.2.3 Creación de alimentos con valores nutritivos adicionales	65
4.3 Beneficios ecológicos	66
4.3.1 Disminución del empleo de insecticidas y herbicidas	66
4.4 Beneficios económicos	70
4.4.1 Menor dependencia de insecticidas y herbicidas químicos	70
4.5 Beneficios en el bioprocesamiento de alimentos	74

D

	página
4.5.1 Mejora de los microorganismos (bacterias, hongos, levaduras) y producción más eficiente de enzimas especializadas	74
V.- RIESGOS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ALIMENTOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE Y LA EVALUACIÓN DE SU INOCUIDAD	77
5.1 Riesgos para la salud humana	77
5.1.1 Capacidad de conferir resistencia a antibióticos	77
5.1.2 Alimentos con sustancias tóxicas y alergénicas	80
5.2 Riesgos para el medio ambiente	85
5.2.1 Flujo de genes y creación de nuevas malezas resistentes herbicidas	86
5.2.2 Pérdida de la biodiversidad por transferencia de genes	89
5.2.3 Efectos de la toxina Bt	96
5.3 Evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de la tecnología del ADNr para consumo humano	101
5.3.1 Concepto de equivalencia substancial	101
5.3.2 Evaluación de la inocuidad del material genético introducido y de los productos génicos	104
5.3.3 Evaluación de la alergenicidad	106
5.3.4 Efectos involuntarios	107
5.3.5 Monitoreo del medio ambiente	109

	página
VI.- LEGISLACIÓN Y ETIQUETADO DE LOS ALIMENTOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE	114
6.1 Organización para el control y manejo de productos transgénicos en Estados Unidos, México y la Unión Europea	115
6.2 Instrumentos internacionales para el control y manejo de alimentos transgénicos	130
6.3 Problemática sobre la regulación del etiquetado de los alimentos modificados genéticamente a nivel internacional	134
VII.- DISCUSIÓN SOBRE LOS ASPECTOS QUE HAN ORIGINADO LA ACEPTACIÓN O RECHAZO DE LOS ALIMENTOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE	141
VIII.- CONCLUSIONES	150
IX.- GLOSARIO	153
IX.- BIBLIOGRAFÍA	162

f

I. Introducción

La presencia en el mercado de organismos modificados genéticamente (OMG) o transgénicos, como también son conocidos, desarrollados a partir de la tecnología del ADN recombinante (ADNr), ha provocado en los últimos años, cambios muy importantes en la producción de algunos cultivos.

Esta tecnología permite la transferencia de material genético de un organismo a otro. En vez de cruzar plantas por muchas generaciones o de inducir mutaciones para lograr la característica deseada, los científicos pueden identificar e insertar con mayor precisión y velocidad, dentro de una planta o microorganismo, uno o más genes responsables de una característica particular. Estos genes transferidos o transgenes, no necesitan provenir de especies relacionadas para ser funcionales y pueden ser trasladados hacia diferentes organismos. Es así como se ha logrado obtener cultivos resistentes a herbicidas, insectos y enfermedades, se ha conseguido controlar la maduración de algunos frutos, mejorar la calidad nutricional de ciertos alimentos, crear otros capaces de sobrevivir en condiciones de alta salinidad y bajas temperaturas, así como alimentos con propiedades terapéuticas.

Por medio de esta tecnología es posible también el desarrollo de animales transgénicos para consumo humano, pero este caso no es abordado en la tesis.

Las opiniones respecto a estos avances son opuestas. Hay quienes ven en ellos la solución a los problemas de la alimentación mundial en un futuro cercano,

afirmando que los productos transgénicos son seguros y se han convertido en la alternativa para aumentar la producción mundial de alimentos disminuyendo la contaminación por agroquímicos y ofreciendo soluciones novedosas a varios problemas. Por otro lado, aquellos que se oponen señalan que los riesgos sobre la salud humana por el consumo de estos productos, están relacionados con alergias y resistencia a antibióticos. Con relación al medio ambiente mencionan que existe el riesgo de posibles cruces con especies silvestres emparentadas y de pérdida de la biodiversidad.

A pesar de esta gran controversia, el desarrollo de esta tecnología viene avanzando rápidamente y como consecuencia de este desarrollo, varios países han establecido controles estrictos para asegurar la transferencia, manejo, uso y liberación de estos productos. Pero en otros países especialmente en desarrollo y con una amplia biodiversidad, el tema aún no ha sido suficientemente analizado y por lo tanto no se cuenta con los mecanismos de regulación, ni con la capacidad para enfrentar el reto que implica esta nueva tecnología.

El objetivo de esta tesis consiste en realizar una recopilación de la información de los últimos cinco años referente al tema de los alimentos manipulados genéticamente para consumo humano, para conocer aquellas técnicas que se emplean para su desarrollo, cuáles son sus aplicaciones, cuáles son los riesgos y beneficios para la agricultura, el medio ambiente, la salud y cuáles son los problemas referentes a su legislación y etiquetado. Se pretende conocer también las diferentes posiciones y argumentos que existen tanto en la población en

general, como en la comunidad científica, y que han desatado el debate sobre su aceptación o rechazo. Después de realizar un análisis de toda la información recopilada se podrá concluir desde el punto de vista del autor, si realmente los alimentos modificados genéticamente presentan un riesgo o beneficio a la humanidad.

II. Organismos manipulados genéticamente

2.1 Aspectos generales sobre biotecnología

La biotecnología es una ciencia caracterizada por la reunión de conceptos y metodologías procedentes de numerosas ciencias para aplicarlas tanto a la investigación básica como a la resolución de problemas prácticos y la obtención de bienes y servicios. ⁽¹⁾

Algunas de las áreas de conocimiento implicadas en la biotecnología son las siguientes:

- Microbiología
- Bioquímica
- Genética
- Biología celular
- Química
- Ingeniería química
- Ingeniería mecánica
- Ciencia y Tecnología de alimentos

El avance de la biotecnología dependerá cada vez más de la colaboración entre estas disciplinas. ⁽²⁾

Este enfoque multidisciplinario y el creciente interés que en los últimos años ha despertado la biotecnología, trae como consecuencia la propuesta de una serie

de definiciones. Una definición amplia de biotecnología es: el uso de organismos vivos y de compuestos obtenidos a partir de organismos vivos para obtener productos de valor para el hombre. Comprende desde las técnicas de fermentación, biotecnología vegetal hasta las nuevas técnicas de Ingeniería Genética, Ingeniería de proteínas e Ingeniería metabólica. ⁽³⁾

Se ha observado que la biotecnología no representa algo nuevo. Desde los comienzos de la historia se han empleado microorganismos en los procesos de fermentación tradicionales como es el caso de la producción de cerveza, vino, pan, queso y yogurt. Hasta mediados del siglo XIX, se siguieron empleando sin saberlo, y de una manera empírica a las levaduras. Sin embargo, su papel como agentes fermentadores fue reconocido hasta 1856 por el científico francés Luis Pasteur. ⁽⁴⁾

Un gran avance en los fenómenos de la fermentación llegó cuando en 1897 Buchner extrajo enzimas a partir de levaduras, ^(4,5) y sostuvo que tenían la capacidad de realizar la misma transformación de fermentación que las células vivas. Con este descubrimiento se concluye que las fermentaciones son procesos químicos catalizados por enzimas presentes dentro de células vivas capaces de convertir azúcares en alcohol. Después de algún tiempo, Fleming, en 1929 logra atribuir a la penicilina la acción inhibitoria sobre bacterias, sentando de este modo las bases para la producción en gran escala de antibióticos. ^(4,5)

Del mismo modo, las técnicas empíricas de selección genética y de hibridación, se han usado a lo largo de toda la historia de la humanidad. La mejora genética de los alimentos no es una práctica nueva. De hecho, es posible que sea una de las actividades más antiguas del hombre. Las plantas y animales que se producen actualmente son el resultado de muchos años de modificación y refinación genética. Desde tiempos muy remotos, los criadores y cultivadores emplearon la selección para mejorar la productividad de animales y plantas. Por ejemplo, eligieron para cultivar, las plantas más grandes o las más fuertes, o las menos propensas a padecer enfermedades; así los productores agrícolas fueron seleccionando y eligiendo, aquellas que les convenía mantener y usar en la producción de alimentos. De este modo, con el tiempo, la estructura genética de las plantas fue enriqueciéndose. La transformación del precursor silvestre del maíz moderno; el teocintle, es un ejemplo claro de este tipo de selección. ⁽⁵⁾

Con esto nos damos cuenta que muchas aplicaciones de la biotecnología de las que nos beneficiamos hoy en día son muy antiguas y que en ellas se está logrando una fase de madurez favorecida por los nuevos adelantos técnicos como es el caso de la tecnología de las fermentaciones.

A lo largo de la historia se han llevado a cabo varios e importantísimos descubrimientos sobre la determinación de los mecanismos de la herencia en los organismos vivos. Gracias a ellos, se ha logrado el desarrollo de la genética y biología molecular, pues constituyen la base de los conocimientos necesarios para

seguir avanzando en la ciencia de la biotecnología y así poder aplicarla en diferentes áreas.

A continuación se menciona brevemente algunos eventos esenciales que nos muestran cómo se fue dando este desarrollo hasta la reciente obtención de técnicas de laboratorio como la Ingeniería Genética también llamada tecnología del ADN recombinante, que permiten modificar el ADN de acuerdo a diseños previos y objetivos concretos.

En el siglo XIX Gregor Mendel descubre los principios básicos de la herencia en experimentos realizados con guisantes, así como el modo de transmisión de ciertos caracteres desde una generación hacia las siguientes.⁽⁴⁾

Investigaciones subsecuentes lograron un avance sobre el conocimiento de la localización, composición y función de los genes. En 1953, Watson y Crick descubrieron la estructura de doble hélice del ADN. ⁽⁴⁾ La complementariedad de las dos hélices les permitió comprender cómo la información genética puede ser fielmente replicada (copiada) y transmitida a lo largo de las generaciones subsecuentes. Con estos conocimientos no sólo se consideraba al ácido desoxirribonucleico como el responsable de un papel clave en la herencia, sino que se comprendió cómo ocurría la replicación exacta del ADN en cada división celular.

Paralelamente a estos descubrimientos sobre la naturaleza química y la estructura de los genes, numerosos investigadores se interesaron en el análisis de los

"productos" de los mismos. Llegaron a la conclusión de que estos "productos" son proteínas y éstas son sintetizadas en las células bajo el control de los genes. ⁽⁶⁾ Un gen contiene la información necesaria para que la célula pueda realizar una determinada reacción gracias a la fabricación de la enzima correspondiente.

A fines de la década de los sesenta, Werner Arber descubre unas enzimas conocidas como de restricción en *Escherichia coli*, ⁽⁴⁾ las cuales tienen la capacidad de defender a la bacteria del ataque de bacteriófagos cortando el ADN foráneo en sitios específicos, rompiendo los enlaces fosfodiéster que unen a los nucleótidos.

Un descubrimiento importante sobre la ciencia de la genética se llevó a cabo en 1970. Es en este tiempo cuando la biología molecular adquiere una poderosa herramienta. Se trata de la tecnología del ADN recombinante (ADNr) también conocida como ingeniería genética. Se observó que al añadir la enzima ADN-ligasa a una mezcla de fragmentos de ADN de orígenes diferentes obtenidos por la acción de las enzimas de restricción, se reparan los enlaces fosfodiéster. Con esto se dan cuenta que se podía constituir la base para la producción de moléculas recombinantes *in vitro* con material genético de diferentes especies.

Después de este descubrimiento, comenzaron a desarrollarse los denominados plásmidos, fagos, cósmidos y cromosomas artificiales de levadura, todos ellos denominados genéricamente vectores de clonación que consisten en moléculas de ADN que permiten contener dentro de sí otras moléculas de ADN de diferentes

organismos y tamaños, conocidas como insertos. Una vez unidos el inserto y el vector, la unidad de clonación se transfiere al interior de una célula, dentro de la cual la molécula de DNA recombinante se replica, obteniéndose decenas de copias idénticas conocidas como clones. Al replicarse las células huésped, las células descendientes heredan el material genético recombinante, que puede recuperarse, purificarse y analizarse. Potencialmente el ADN clonado puede transcribirse y traducirse, a fin de estudiar su RNA y/o su proteína, y, por tanto, la función que codifica dentro del organismo. ⁽¹³¹⁾

La Ingeniería Genética consiste en un conjunto de técnicas modernas que permiten la manipulación específica de la información genética de los seres vivos ⁽⁷⁾ Esta técnica básicamente consiste en la separación de un gen específico de su cromosoma para después insertarlo en una pequeña molécula portadora de ADN (vehículo genético) de modo que tras su introducción en un organismo hospedero, el ADN híbrido se pueda multiplicar y expresar. ⁽⁸⁾

Estos han sido los acontecimientos fundamentales que a través de los años han dado origen al desarrollo de la biotecnología y su aplicación en diversas áreas como la agricultura, la industria alimenticia, farmacéutica y química así como en los procesos de diagnóstico y tratamiento médico.

2.2 Elementos básicos de la tecnología del ADN recombinante (ADNr)

En general, la manipulación de los genes puede dividirse en cuatro grandes etapas: ⁽⁸⁾

1. Producción de fragmentos de ADN, entre los cuales se encuentra el que contiene el gen de interés.
2. Inserción de los fragmentos en vectores que los transportarán individualmente. La molécula resultante de la combinación del ADN a transportar y el ADN del vector se denomina ADN recombinante.
3. Introducción del vector recombinante en las células hospederas. A este proceso se le llama transformación.
4. Identificación de las células que efectivamente han recibido el vector portador del gen de interés. A esto se llama detección.

A continuación se describe más detalladamente en qué consiste la tecnología del ADNr, poniendo como ejemplo la producción de bacterias que hospedan nuevas combinaciones de ADN. (Ver figura 2.1)

Al trabajar con bacterias, se tiene la ventaja de que poseen plásmidos naturales, los cuales sirven para construir vectores. De esta manera la técnica del ADNr es la más apropiada para lograr obtener una cepa de bacterias recombinante.

El primer paso en este proceso consiste en obtener fragmentos del ADN que contiene el gen de interés, rompiendo los cromosomas con ayuda de las enzimas

de restricción, las cuales hacen el corte en sitios precisos del ADN. Después es necesario aislar el fragmento de ADN que nos interesa. Si se trata de un genoma no muy extenso esto se puede hacer por medio de electroforesis en gel de agarosa o por HPLC, ⁽⁶⁾ pero si se trata de un genoma de mamífero por ejemplo, se originarán varios cientos de miles de fragmentos, siendo su aislamiento por medio de estos métodos poco práctico. En este caso se recomienda hacer un paso intermedio en la clonación del gen de interés, el cual consiste en la construcción de una librería de ADN seguida de la construcción de una sonda para lograr aislar el gen de interés. ⁽⁸⁾ Una librería de ADN es una colección de los fragmentos derivados del genoma de un organismo determinado insertados uno por uno, en un vector de clonación, los cuales son introducidos en bacterias. El resultado final es una gran población de bacterias, siendo cada una de ellas portadora de una molécula de ADN recombinante diferente. Después de la construcción de la librería, se necesita conocer en qué colonia de bacterias se encuentra el gen de interés para después poder aislarlo. Esto se puede lograr empleando un método de hibridación por medio de una sonda. Una sonda es un fragmento de ADN marcado radiactivamente que tiene una secuencia nucleotídica complementaria al gen que se desea detectar. La identificación de un clon con el fragmento de ADN de interés consiste en presionar con un papel de nitrocelulosa sobre la placa de agar que contiene las bacterias transformadas. Algunas células de cada colonia se adhieren al papel formando así una réplica de la placa. El papel se trata con álcali para romper las células y desnaturalizar el ADN, el cual permanece alrededor de la región donde se formó la colonia. A continuación se

adiciona al papel la sonda de ADN marcada radiactivamente que hibridará sólo con el ADN que contenga el gen con la secuencia nucleotídica complementaria. Finalmente, la colonia marcada se visualiza por medio de rayos X (autorradiografía) y se procede a aislar el gen de interés. ⁽⁸⁾

Una vez aislado, éste se une a un vector de clonación, cuya función es la de trasladar la pieza de ADN deseada hacia un organismo seleccionado. En el ejemplo presentado, se emplea un plásmido bacteriano como vector, el cual debe ser cortado previamente con la misma enzima de restricción con la que se cortó el ADN portador del gen de interés, de modo que se generen extremos compatibles entre sí (mutuamente cohesivos). Esta unión se realiza por medio de la enzima ADN ligasa. Al fragmento de ADN resultante se le considera una molécula recombinante.

Es importante mencionar que el plásmido que se desea emplear debe de contar con ciertas características que son importantes para que se pueda llevar a cabo el proceso. Éstas se mencionan a continuación.

- 1) Se necesita un origen de replicación para propagar el plásmido y mantenerlo al nivel de 10 a 20 copias por célula.
- 2) Debe contar con marcadores seleccionables; genes que confieren algún rasgo que se pueda rastrear y permitan la selección de células que contengan el plásmido.

- 3) Debe contar con varias secuencias únicas de reconocimiento para diferentes enzimas de restricción para generar sitios por donde se puede cortar el plásmido e insertar las secuencias foráneas de ADN.
- 4) Debe ser pequeño para facilitar su entrada en la célula.
- 5) Debe tener capacidad de replicación autónoma.
- 6) En caso de que el gen que se quiere clonar no contenga los elementos de ADN secuenciales necesarios para su expresión en la célula huésped, las secuencias reguladoras de transcripción y traducción deben ser insertadas en el vector en una posición adecuada para que éste pueda expresarse.

El plásmido recombinante es introducido en la célula huésped por medio de un proceso llamado transformación, el cual consiste en lograr que las células acepten el ADN foráneo y esto se hace permeabilizando la membrana bacteriana con CaCl_2 .⁽⁶⁾ Los plásmidos que llevan el gen de interés pueden ingresar a la célula bacteriana, como también pueden hacerlo plásmidos que no lo recibieron. Puede ocurrir también que haya células que no fueron transformadas, por lo tanto es necesario que las células bacterianas que poseen el plásmido con el gen deseado, expresen alguna característica que permita distinguirlas. En este ejemplo se cuenta con un vector portador de genes marcadores que otorgan resistencia frente a dos antibióticos. Debido a que se conoce la enzima de restricción que se empleó, así como la localización de su sitio de reconocimiento en el plásmido, se puede saber de ante mano (siguiendo con el ejemplo) que las células transformadas serán resistentes a la tetraciclina, pero no crecerán en presencia de

ampicilina. En la figura 2.1 se puede observar que la enzima de restricción empleada corta en el sitio de restricción PstI. Si se logra insertar el gen deseado en este sitio, se inactiva el elemento de resistencia a la ampicilina. Una vez transformadas las bacterias, se hacen crecer en placas de agar con tetraciclina para seleccionar aquellas que han logrado incorporar el plásmido (con o sin el gen de interés). El siguiente paso es seleccionar las bacterias que lograron incorporar el plásmido recombinante (con el gen de interés). Para lograr esto, usando pabillos estériles se transfieren las colonias individuales a la misma posición de dos placas cuadrículadas, una con tetraciclina y la otra tetraciclina más ampicilina. Así, las células que crecen en presencia de tetraciclina pero que no forman colonias en el medio que contiene tetraciclina y ampicilina, son las portadoras del plásmido recombinante y tendrán la capacidad de manifestar la característica que le corresponde codificar al gen insertado. Las células que logren capturar el plásmido sin la inserción del ADN foráneo, conservarán la resistencia a los dos antibióticos y por lo tanto crecerán en ambas placas.

Por este medio es posible producir un gran número de copias de un fragmento de ADN conocido, el cual después se puede usar para transformar otros organismos como plantas y animales, logrando que integren nuevas características deseables a su genoma. Éstos son conocidos como organismos derivados de la tecnología del ADN recombinante (ADNr) u organismos modificados genéticamente (OMG).

Una definición más específica acerca de qué es un (OMG) es la siguiente: se trata de un organismo que tiene integrado a su material genético una fracción de ADN

ajeno (de otro organismo o sintético). Por lo tanto, el OMG contiene una nueva pieza de ADN, lo que lo hace diferente de su contraparte convencional. La nueva pieza de ADN contiene uno o varios genes que tienen la capacidad de manifestarse en el nuevo organismo, determinando la producción específica de nuevas proteínas. Esto sugiere la ganancia de una nueva función o rasgo por parte del organismo transgénico. ⁽³⁾

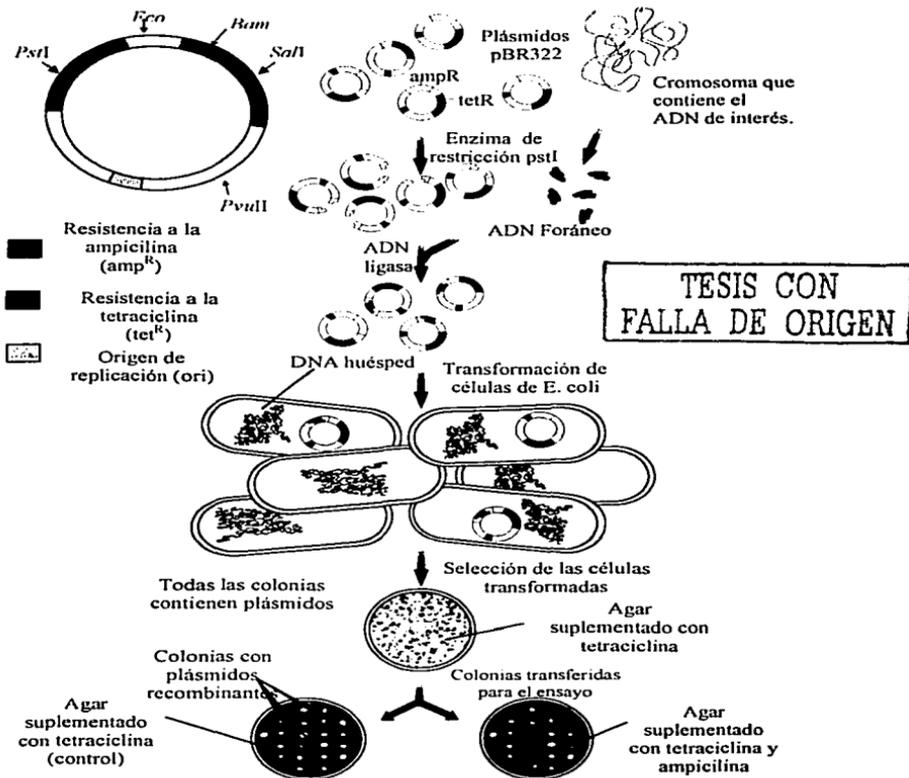


Figura 2.1 Clonación de ADN foráneo en *E. coli* con el plásmido PBR322. (Lehninger A., 1993)

2.3 Métodos de transformación genética para la obtención de plantas transgénicas

2.3.1 Técnicas con base en vectores

- Transferencia de genes mediada por *Agrobacterium tumefaciens*.

Uno de los problemas que presenta la clonación en plantas es que no se ha encontrado algún plásmido natural en ellas que facilite este proceso. ⁽⁹⁾

A pesar de esto, los científicos encontraron una solución a este problema. Se trata de la bacteria de suelo *Agrobacterium tumefaciens*, la cual en la naturaleza infecta heridas en plantas transformando las células cercanas induciéndolas a formar tumores. *Agrobacterium tumefaciens* contiene un plásmido llamado Ti (inductor de tumores), el cual contiene un segmento conocido como ADN T y otro donde se encuentran unos genes llamados *vir* (de virulencia). ⁽⁸⁾

La acetosiringona (compuesto fenólico), es una sustancia producida por la planta, su concentración en las células heridas del vegetal se incrementa y se libera hacia el exterior. La bacteria detecta este compuesto y se inducen los genes de virulencia que codifican para las enzimas necesarias para introducir el ADN T en el genoma de las células de la planta cercanas a la herida. La transferencia del ADN T hacia el núcleo de la célula también está mediada por dos repeticiones de 25 pares de bases que flanquean a este fragmento del plásmido Ti. Son secuencias específicas de señalización de ADN para determinar el punto inicial y final de la transferencia de ADN. ⁽⁵⁾ Se sintetiza una copia monocadena del ADN T y se

transfiere a la célula, donde se convierte en ADN dúplex y se integra en el cromosoma.

El ADN T codifica para enzimas que convierten los metabolitos de la planta en dos clases de compuestos importantes para la bacteria. La primera clase está formada por auxinas y citoquininas que estimulan el crecimiento de las células transformadas formando el tumor. La segunda consiste en opinas que son aminoácidos que la bacteria metaboliza y utiliza como fuente de carbono y nitrógeno. La expresión de los genes T por las células vegetales transformadas origina la formación del tumor y la desviación de los nutrientes de la célula vegetal para ser usados por la bacteria invasora. ⁽⁶⁾ Como vemos, este es un caso de transferencia de DNA de un procarionta a un eucariota y representa un proceso de ingeniería genética natural.

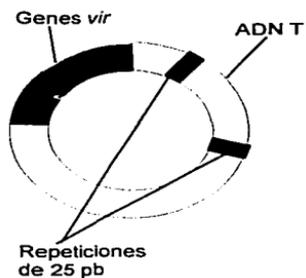
Este sistema bacteriano de transferencia de DNA T en el genoma de la planta, puede utilizarse como vector para transferir DNA recombinante en su lugar, pues es posible efectuar el aislamiento de los genes que producen los tumores y sustituirlos por genes seleccionados. ⁽⁶⁾ Una estrategia común de clonación emplea una cepa de *Agrobacterium tumefaciens* que contiene dos plásmidos recombinantes diferentes. El primero (1) es un plásmido Ti modificado de tal modo que se ha eliminado el ADN T pero sigue conservando los genes *vir*. En el otro plásmido (2) se inserta el gen de interés junto con un gen que confiere resistencia hacia algún antibiótico, (en el ejemplo se emplea la resistencia a kanamicina) ambos comprendidos entre las secuencias específicas de señalización que

determinan el punto inicial y final de la transferencia de ADN T. Este plásmido también contiene el origen de replicación necesario para su propagación en la bacteria.

El plásmido (1) funciona como colaborador, pues aporta las proteínas necesarias (codificadas por los genes *vir*) para que se lleve a cabo la transferencia del segmento del plásmido (2) hacia el genoma de la planta. La transferencia se produce en forma de cadena sencilla de la fracción de ADN por acción de cortes en una sola hebra en ambos extremos y en algún momento, el fragmento se transforma en cadena doble y así se integra aparentemente al azar en el genoma vegetal, donde será duplicado cada vez que la célula se divida.

Enseguida, la bacteria modificada se emplea para infectar una hoja de la planta elegida. Finalmente, las células vegetales transformadas se pueden seleccionar por crecimiento en un medio que contenga kanamicina (siguiendo con el ejemplo) y se induce su desarrollo con hormonas de crecimiento. Las células no transformadas mueren por no ser resistentes al antibiótico. ⁽⁸⁾

Este método de transformación para algunas plantas funciona mejor que para otras. Por ejemplo para las de la familia *Solanaceae* como tomates, tabaco y papas, se han conseguido los mejores resultados. En cambio en las monocotiledóneas *Agrobacterium tumefaciens* no las infecta fácilmente, aunque ya se ha logrado obtener maíz y arroz transgénico por este método.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.2 Plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens* (Lehninger A., 1993)

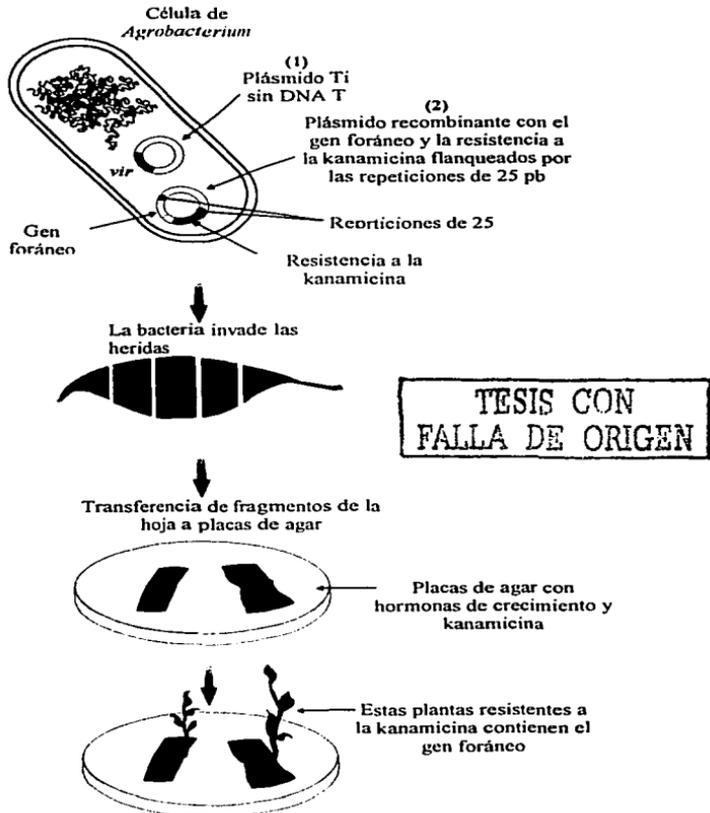


Figura 2.3 Planta modificada genéticamente por *Agrobacterium tumefaciens*. (Lehninger A., 1993)

2.3.2 Técnicas *in vitro*

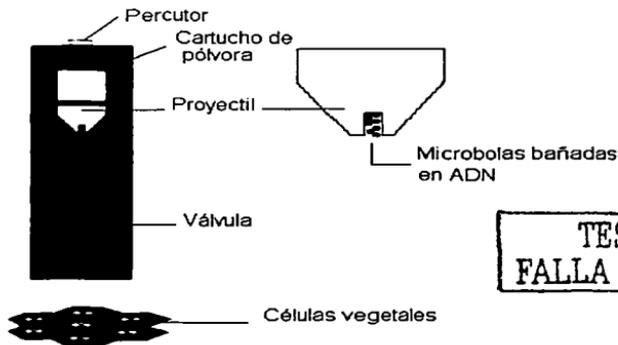
Recientemente se han diseñado métodos alternativos para la transformación de plantas, por medio de los cuales es posible introducir el ADN directamente al interior de la célula vegetal atravesando la pared y membrana celular. Estos métodos se mencionan a continuación.

➤ Método Balístico

En el método conocido como balístico o de ADN libre, un fragmento de ADN que acarrea el gen de interés junto con un gen marcador, es aislado de la bacteria en la cual fue clonado. Luego es usado para recubrir totalmente unas pequeñas partículas o microproyectiles de tungsteno u oro (1- 4 μm de diámetro). A continuación las partículas se disparan sobre el tejido vegetal, con una pistola de gas comprimido (Helio) a unas velocidades suficientes para penetrar en el interior de la célula atravesando la pared. ⁽⁹⁾

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 aprovechando la característica del gen marcador introducido con el gen foráneo, y regenerar la planta entera al cultivar la célula en condiciones adecuadas.

Con este método se han transformado distintas variedades de cereales y gimnospermas. Entre las plantas transformadas se pueden señalar la caña de azúcar, maíz, papaya, soja, tabaco y trigo. ⁽¹⁰⁾



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.4 Esquema del método balístico o pistola de genes

Fuente: *Bulletí Centre d' Estudis de la Natura del Barcelonés Nord*, IV (3): Sta.Coloma de Gramenet, 1999 <http://www.xtec.es/~jcarrasc/transgenicas.htm>

➤ Microinyección

Otro método de transformación de plantas sin la ayuda de vectores biológicos es uno conocido como microinyección, ⁽⁸⁾ en el cual se inyecta el ADN, 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. Parece que la transferencia del ADN 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 tiene una alta proporción de éxitos cuando la practican expertos, pero debido a que las células se han de inyectar una por una, el número total de células que puede ser tratado es muy pequeño. Se han conseguido transformar plantas de canola y arroz por medio de este método. ⁽⁹⁾

➤ Electroporación

Las células vegetales cuentan con una pared vegetal constituida por un polímero de carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) que rodean la membrana plasmática y que dificultan enormemente la entrada de ADN. Por lo tanto, para facilitar dicha entrada se preparan células vegetales a las que por tratamiento enzimático empleando las enzimas celulasa y pectinasa se las ha despojado de su pared, obteniéndose células vegetales solo con membrana plasmática. Estas células se denominan protoplastos y una vez transformados, podrán reconstruir la pared y en condiciones adecuadas de cultivo regenerar una planta entera.

La entrada del ADN al interior del protoplasto se consigue colocando el protoplasto en presencia del ADN a introducir (gen heterólogo más el gen marcador en forma lineal, vector Ti o vector bacteriano con gen heterólogo más el gen marcador) y por medio de descargas eléctricas se favorece la entrada del ADN a la célula, pues se induce la formación de poros en la membrana. Es un método poco usado y de baja eficiencia, pero con él se han conseguido transformar protoplastos de arroz, canola, cítricos, fresa, maíz, tabaco y soja. ⁽⁹⁾

2.4 Estrategias utilizadas para lograr obtener los fenotipos deseados

Las estrategias empleadas para obtener las características deseadas en plantas y vegetales mediante el uso de la tecnología del ADN_r son principalmente 3. ⁽¹¹⁾ La primera, que es la más directa, consiste en el uso de la actividad de la proteína codificada por el gen introducido, para conseguir el fenotipo buscado.

La segunda se basa en el fenómeno de silenciamiento de genes por cosupresión. Al existir varias copias de un mismo gen en el genoma del organismo ocurre este fenómeno y de esta forma se puede lograr la reducción de la síntesis de una proteína en la planta, al introducir a la misma un gen homólogo al gen que la codifica. Una tercera estrategia es la llamada ARN "antisentido", en donde se busca la reducción de la síntesis de una proteína determinada, por lo tanto, la actividad que ésta lleva a cabo se ve restringida. El efecto se logra al introducir en la planta el gen que codifica para la proteína cuya síntesis se quiere inhibir pero en orientación opuesta a la normal, (en sentido contrario) de manera que se genere un ARN antisentido. De esta forma, la transcripción del gen introducido origina un ARN mensajero que es complementario al ARN mensajero del gen diana. Ambos ARN mensajeros, al encontrarse en el mismo citoplasma, hibridan, con lo cual el ARN mensajero que codifica la proteína cuya síntesis se quiere inhibir queda capturado en este híbrido, y no puede ser traducido, disminuyendo de esta forma la síntesis de dicha proteína.

Gracias a que la Ingeniería Genética permite el acceso y manipulación directa de la información contenida en el ADN, ha sido posible la obtención de nuevos productos, como microorganismos que lleven a cabo funciones especiales, plantas modificadas que posean características útiles para la agricultura y alimentos más nutritivos, entre otros. En el siguiente capítulo se tratará sobre los rasgos más manipulados que hasta ahora se han realizado en alimentos de consumo humano y organismos involucrados en su procesamiento.

Antes de ver algunos ejemplos de plantas y organismos transgénicos, hay que recordar que siempre que se vaya a transferir un gen para obtener un organismo transgénico, habrá que rodearlo de las secuencias adecuadas (genes promotores, terminadores, activadores, etc) reconocidas por el organismo donde se pretenda expresar. Por eso, en el siguiente capítulo, debe sobreentenderse que los genes obtenidos de otros reinos diferentes al del organismo que se va a modificar se introducen en ellos con las construcciones adecuadas. Se retiran sus promotores y terminadores y se ponen estos mismos elementos pero de reconocimiento en plantas, bacterias o levaduras, según sea el caso. ⁽⁸⁾

III. Aplicaciones de la tecnología del ADNr en alimentos de consumo humano y en organismos involucrados en su procesamiento

La manera tradicional de producir cultivos mejorados (reproducción selectiva e interespecies) incluye el cruce incontrolado de cientos de genes y el principal factor limitante reside en la incompatibilidad sexual que existe entre las especies progenitoras. Al contrario de estas técnicas, la tecnología del ADNr brinda la oportunidad de contar con herramientas nuevas que permiten a los investigadores buscar características específicas de diferentes organismos e identificarlas con precisión y transferir el material genético seleccionado de un organismo a otro de la misma u otra especie de una manera controlada.

Esta tecnología presenta grandes aplicaciones en el campo de la agricultura como en el procesamiento de alimentos. Algunas de las más importantes se describen a continuación.

3.1 Cultivos resistentes a herbicidas

Un gran porcentaje de la producción agrícola mundial se pierde como consecuencia del crecimiento de malas hierbas en los cultivos, a pesar de la enorme inversión que se hace para la aplicación de herbicidas químicos. Además del gasto, los herbicidas presentan otras limitaciones, pues afectan también a las cosechas y se deben aplicar antes de que las malas hierbas aparezcan.⁽¹²⁾

La manipulación genética de la tolerancia a herbicidas representa una alternativa para conferir selectividad y aumentar la seguridad de los cultivos frente a estos compuestos. La investigación se ha centrado principalmente en aquellos herbicidas con alta actividad, baja toxicidad, escasa movilidad en los suelos, rápida biodegradación y amplio espectro de acción.

La resistencia a herbicidas se basa en la transferencia de genes de resistencia a partir de bacterias. El glifosato y glufosinato son de los más potentes herbicidas de amplio espectro que se conoce, son degradados por microorganismos del suelo rápidamente, dando lugar a productos no tóxicos y además presentan una baja toxicidad para el hombre y el ganado.⁽¹²⁾

La mayor parte de las semillas transgénicas que hoy se comercializan son resistentes a estos herbicidas. Ambos compuestos actúan sobre las rutas de síntesis de aminoácidos. El glifosato es un inhibidor de la enzima 5-enol piruvil shikimato-3-fosfato sintasa (EPSP sintasa), la cual es necesaria para la producción de los aminoácidos aromáticos tirosina, fenilalanina y triptófano, esenciales para el crecimiento de la planta. Los animales obtienen estos aminoácidos en la dieta, por lo tanto no poseen la enzima EPSP sintasa, de forma que no se ven afectados por este herbicida.⁽¹²⁾ La resistencia a glifosato se obtiene introduciendo en la planta un gen ligeramente diferente obtenido de la bacteria *A. tumefaciens*, el cual codifica una versión de esta enzima insensible al herbicida. Algunos cultivos contienen también un gen de la enzima glifosato oxidorreductasa obtenido de la bacteria *Achromobacter*, la que contribuye a

degradar el herbicida. El glufosinato es un inhibidor de la enzima glutamina sintetasa, que desempeña un papel crucial en el metabolismo del amoníaco. La resistencia se obtiene introduciendo en la planta el gen de la enzima fosfinotricina acetil transferasa obtenido de las bacterias del suelo *Streptomyces hygroscopicus* o *S. viridochromogenes*. Dicha enzima conjuga un grupo acetilo a la molécula del herbicida promoviendo así su degradación por el sistema de detoxificación de la planta. ⁽¹²⁾

Otros herbicidas que presentan distintos modos de acción como el bromoxinil, glufosinato y sulfonil-urea ya han sido usados en diferentes cultivos obteniéndose buenos resultados. ⁽⁵⁾

3.2 Cultivos resistentes a insectos

Las plantas pueden verse sometidas a plagas de insectos cuyas larvas son muy perjudiciales, sin embargo, gracias a la aplicación de la ingeniería genética en la producción de plantas resistentes a plagas se logra obtener un mejoramiento de los cultivos utilizados en la agricultura. Los mayores progresos en la obtención de plantas transgénicas resistentes a insectos han sido conseguidos a partir de la proteína insecticida de *Bacillus thuringiensis*. La mayoría de las cepas de esta bacteria son tóxicas para larvas de lepidópteros y algunas lo son para larvas de dípteros. ⁽¹³⁾

El *Bacillus thuringiensis* es una bacteria grampositiva, esporulada que produce una proteína cristalina que contiene potentes endotoxinas insecticidas clasificadas como toxinas de cristal (Cry). Cuando es ingerida por la larva del insecto, los

crisales se solubilizan en el ambiente alcalino de su intestino liberándose la toxina activa ocasionando lisis osmótica en la célula. Los miembros de la familia de genes Cry se agrupan en subfamilias de acuerdo con su especificidad. Para miembros de las familias de insectos *Lepidoptera* (orugas) se emplean los genes Cry1, Cry2 y Cry9, para las familias de insectos *Diptera* (moscas y mosquitos) Cry2 y Cry4 y para *Coloptera* (escarabajos) se emplea la toxina Cry3. ⁽¹³⁾

Por medio de las técnicas de ingeniería genética, el gen que codifica dicha toxina fue aislado y clonado en un vector en plantas, lo que permitió su inserción y expresión en ellas. Éstas al expresar la toxina están generando su propio insecticida, lo que implica un menor uso de agroquímicos para controlar insectos, con obvias ventajas económicas y ambientales. Es importante mencionar que esta toxina no tiene efectos perjudiciales sobre otras especies. ⁽¹³⁾ Las plantas con este tipo de resistencia se denominan con la terminación Bt de *Bacillus thuringiensis*. Con esta estrategia se han obtenido distintas plantas transgénicas resistentes a insectos, entre ellas destacan cultivos de algodón, maíz, papas y colza, los cuales en la actualidad se cultivan en países como Estados Unidos, Canadá, Argentina, China e India. Todos estos cultivos han sido sometidos a estudios de diversas entidades como la AMA (American Medical Association) y la EPA (Environment Protection Agency), quienes concluyeron que además de ser inocuos para la salud y el medio ambiente, contribuyen a reducir notablemente el uso de productos químicos. ⁽¹³⁾

3.3 Cultivos resistentes a enfermedades

Los hongos se pueden eliminar de las cosechas con productos químicos, pero esta estrategia puede ocasionar problemas ecológicos. Para proteger a las plantas del ataque de estos organismos la biotecnología basándose en un mecanismo de defensa natural, ha logrado obtener plantas resistentes a hongos ⁽¹⁴⁾ introduciendo genes que codifican para la producción de quitinasas y/o glucanasas (enzimas que degradan la pared celular del hongo), así como de otras toxinas vegetales (tioninas y osmotinas), todas ellas proteínas PR (de respuesta patógena) procedentes de células de otras plantas o también de bacterias. La expresión de estas proteínas PR se activa por el ataque de los microorganismos.

La papaya es un cultivo tropical de importancia económica en algunos países como Tailandia, Venezuela, Taiwan, México o Hawai. En casi todas las regiones del mundo las plantaciones están afectadas en mayor o menor medida por el virus de la mancha anular (ringspot, PRSV), que se transmite por los pulgones. ⁽¹⁵⁾ Investigadores de la Universidad de Cornell (Nueva York) y de la Universidad de Hawai han obtenido una variedad transgénica de papaya resistente a este virus, transformando árboles de papaya mediante la expresión del gen de la proteína de la cubierta del virus. Este gen se usa debido a que por encima de una cierta concentración de la cubierta proteica viral en la planta, se inhibe el nuevo desarrollo del microorganismo. Supuestamente, esta característica evolucionó así para que el virus no mate a su huésped demasiado rápido. El mecanismo de protección consiste en la interferencia del producto del gen con las partículas virales desnudas antes de la traducción y replicación del virus. ⁽¹⁵⁾

El Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT) actualmente se encuentra desarrollando un cacahuete modificado genéticamente que es resistente al virus del cacahuete, el cual tiene el potencial de infectar a varios cultivos importantes como el trigo, la cebada, el maíz, sorgo, caña de azúcar, chiles y cacahuete (maní) entre otros. Se estimó que este virus causó una pérdida de aproximadamente 40 millones de dólares a nivel mundial debido a los daños que causó a cultivos de maíz. Los productores de cacahuete en la India y Occidente de África se ven afectados igualmente en gran medida.

El Dr. William Dar (2002), Director General del ICRISAT, afirma que "ya se están realizando pruebas en invernadero y se espera que ello ponga disponible al cacahuete modificado genéticamente para su comercialización dentro de tres años." (16, 17)

3.4 Maduración controlada de frutos

El conocimiento del metabolismo de las plantas permite mejorar e introducir algunas características diferentes. Por ejemplo, el jitomate "Flavr-Savr", fue manipulado genéticamente para retrasar su proceso de maduración ⁽¹⁸⁾ utilizando la técnica ARN antisentido. Los científicos lograron suprimir hasta un 90% la síntesis de la enzima poligalacturonasa, responsable de degradar las paredes de las células vegetales produciendo el ablandamiento del jitomate. De esta manera se obtuvo una variedad que se puede cosechar ya madura y comercializarse directamente. Con este nuevo desarrollo se ofrece a los productores beneficios

como tener un período más largo para el transporte y la oportunidad de una recolección mecánica con pocas magulladuras. ^(132,133,134)

En México se ha autorizado para su explotación comercial una variedad de jitomate transgénico con esta característica, pero no tuvo el éxito comercial esperado en EU (donde se liberó comercialmente en 1994) y actualmente los productores mexicanos han dejado de sembrarlo por haber encontrado otra variedad, el Divine Ripe, también de maduración lenta y obtenido por mutación natural. El jitomate Divine Ripe ha tenido tan buenos resultados en Sinaloa, que en 1995 por primera vez los horticultores mexicanos alcanzaron una mayor productividad que sus competidores de Florida. ⁽¹³⁵⁾

Otro ejemplo de este tipo de manipulación genética es la creación de melones de maduración lenta, en los cuales se logró inhibir la enzima ACC sintasa, responsable de la producción de ACC (ácido carboxílico 1-aminociclopropano), el cual posteriormente por acción de ACC-oxidasa se convierte en etileno. De esta manera se logra reducir la producción de etileno lográndose retardar la maduración del fruto. ⁽¹⁶⁾ Gracias a estos avances es posible obtener variedades transgénicas donde el proceso de maduración sea uniforme y de fácil control, atenuándose las pérdidas debidas a la sobremaduración producida durante el transporte o a las deficiencias en el tratamiento poscosecha.

3.5 Mejora de la calidad nutrimental de los alimentos

El arroz descascarillado, como se consume actualmente, es el alimento básico de una buena parte de la población de los países en desarrollo, especialmente en Asia. Este alimento es pobre en vitamina A, cuya carencia en la dieta produce ceguera y una mayor susceptibilidad a las infecciones debido al mal funcionamiento del sistema inmunológico. Problemas similares existen en África y Latinoamérica y se calcula que esta deficiencia condena a la muerte a más de un millón de niños al año. ⁽¹⁹⁾ Hoy en día los científicos por medio de la ingeniería genética han logrado transferir al arroz los dos genes que dan al narciso su color amarillo y que son, precisamente, los que producen betacaroteno, el precursor de la vitamina A. ⁽¹⁹⁾ De esta forma se puede contribuir a aminorar la deficiencia de esta vitamina en la dieta en sociedades de bajos recursos consumidoras de arroz. Pero 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 y la eficiencia del cultivo transgénico está siendo estudiada. ⁽²⁰⁾

Otro componente esencial para los seres vivos es el hierro. Su carencia produce anemia, y en los niños, retraso del crecimiento y del desarrollo mental. Se calcula que la ausencia de este oligoelemento en la dieta causa al año unos 40 millones de partos prematuros y bebés con bajo peso, muchos de los cuales mueren de anemia. ⁽²⁰⁾ Los investigadores trabajan también para conseguir una variedad transgénica de arroz enriquecida insertando genes relacionados con la síntesis de una proteína fijadora de hierro (ferritina) y con la producción de una enzima que

facilita la absorción del metal en el organismo. ⁽²¹⁾ Como objetivo final, los científicos estudian el cruce de ambas variedades de arroz modificadas para obtener en la misma planta los niveles de hierro y β - caroteno necesarios para disminuir los padecimientos que provoca una dieta pobre en estos dos nutrientes.⁽¹⁹⁾

En los últimos años se han obtenido plantas transgénicas en las que se ha modificado la composición química de sus frutos o semillas. Se han conseguido modificar, tanto la composición de los ácidos grasos de sus triglicéridos, como la cantidad de almidón o proteínas. En algunas regiones del mundo se sufre de desnutrición debido a que sus fuentes de proteína son deficientes o de mala calidad. Por esta razón en estos países se sufre de retardo en el crecimiento, y se tiene una mayor susceptibilidad a padecer enfermedades. La producción de plantas transgénicas cuyas semillas presenten proteínas de alto valor nutritivo es un objetivo importante en alimentación. El incremento en la proporción de ciertos aminoácidos como la lisina (Lys), la tirosina (Try), la metionina (Met) y la cisteína (Cys) en la composición de las proteínas ingeridas, puede ser posible gracias a la ingeniería genética.

En el hombre, el enriquecimiento de las proteínas en ciertos aminoácidos puede ser especialmente beneficioso para las poblaciones de bajos recursos que presentan una dieta pobre en aminoácidos esenciales. En la actualidad ya se ha logrado desarrollar una nueva variedad de canola con un mayor contenido de Lisina (casi el doble). De esta manera se logra incrementar su valor nutrimental.⁽²²⁾

Del mismo modo está bajo desarrollo la obtención de una variedad de soya y canola productoras de un mayor contenido de ácido esteárico y oléico respectivamente. Esto con el objetivo de obtener una mayor estabilidad de los ácidos grasos durante el procesamiento y poder evitar la producción de los isómeros *trans* que contribuyen a incrementar los niveles de colesterol en el organismo y son normalmente producidos durante el proceso de hidrogenación.⁽²²⁾ La producción de papas con un menor contenido de almidón contribuye a que exista una menor absorción de grasa durante el freído.⁽²³⁾

3.6 Cultivos resistentes al estrés abiótico

Suelos que presentan condiciones de alta salinidad, presencia de metales, bajo nivel hídrico o se encuentran en regiones donde las condiciones climáticas son desfavorables, provocan condiciones de crecimiento pobres y cosechas reducidas. Para solucionar esto, los científicos están intentando encontrar la manera de desarrollar plantas capaces de crecer en tales condiciones, con lo cual los suelos que no son actualmente empleados para la agricultura podrían ser aprovechados en el futuro.

Científicos de la Universidad de Carolina del Norte, lograron encontrar el gen que controla la retención del agua en las plantas⁽²⁴⁾ Esto es una gran contribución de la ciencia hacia la agricultura, pues la disponibilidad de agua es uno de los principales problemas que se tiene a nivel mundial. Con esta investigación se verán beneficiados principalmente países que cuentan con grandes extensiones de tierras áridas que no son posibles de cultivar.

Un desarrollo más adelantado es la incorporación, por medio de la ingeniería genética, de la resistencia a heladas en plantas. Se ha logrado introducir en papa una proteína anticongelante presente en peces antárticos, con el objetivo de que las plantas logren resistir bajas temperaturas. ⁽²⁵⁾ Variedades transgénicas de este tipo están siendo ensayadas a nivel de campo en Bolivia y Ecuador. Se espera reducir las pérdidas por heladas y extender la zona de producción hacia alturas mayores.

Regiones donde el contenido de sal en el suelo es alta, no pueden ser aprovechadas para ser cultivadas, pues cuando la concentración de NaCl llega a ciertos niveles, puede ser tóxica para las plantas, ⁽²⁶⁾ ocasionando alteraciones en la capacidad de absorción de agua a través de la raíz, lo que lleva a una alteración del equilibrio osmótico por lo que las enzimas presentes en el citoplasma de las células se ven afectadas.

Eduardo Blumwald, investigador de la Universidad de California y colaboradores, crearon variedades de tomate y canola tolerantes a altas concentraciones de sal. ⁽²⁶⁾ Estas nuevas variedades resisten altas concentraciones de sal, al insertarles un gen procedente de la planta *Arabidopsis thaliana* el cual es el responsable de la producción de una proteína de transporte (AtHKT1) presente en la membrana de la vacuola y tiene la función de arrastrar al ión sodio (Na⁺) hacia su interior donde es almacenada. El sistema de transporte (antiporte) está acoplado a otra proteína que funciona como bomba de protones para proporcionar la energía necesaria.

Una vez que la sal se aloja en las vacuolas, queda aislada del resto de las células y no interfiere con la actividad biológica de la planta. ⁽²⁷⁾ Ambas variedades transgénicas lograron crecer y dar fruto en un medio con alto contenido de NaCl, logrando almacenarla principalmente en las hojas y no en los frutos, de manera que la calidad de éstos no se vio afectada.

Blumwald (2000) destacó que "la tolerancia que estas variedades tienen hacia los elevados índices de sal les convierte en el primer vegetal de una nueva generación de cosechas resistentes a uno de los principales problemas que hoy sufre la agricultura tanto en países desarrollados como en los que no lo son." ⁽²⁷⁾

La presencia de metales en los suelos afecta en gran medida el crecimiento y desarrollo de los cultivos. El aluminio por ejemplo, ocasiona que la raíz se acorte y engrose, afectándose la capacidad de absorción de agua y nutrientes. ⁽²⁸⁾ Otros metales como el cadmio y el cobre, pueden desplazar iones metálicos como el zinc (Zn^{2+}) (que es un cofactor necesario para la actividad enzimática) de enzimas esenciales para la planta.

Científicos del Plant Research Institute en Ithaca, Nueva York, encontraron una variedad mutante de la planta *Arabidopsis thaliana*, que puede sobrevivir en suelos con alto contenido de aluminio. ⁽²⁸⁾ Esto es posible gracias a que secreta ácidos orgánicos como el cítrico y málico, los cuales capturan los iones metálicos presentes en los suelos para formar citrato y malato de aluminio. Esos

compuestos no son absorbidos por la raíz de la planta y ésta puede desarrollarse sin dificultad.

Varios grupos de investigadores ya han logrado identificar en plantas mutantes y otros organismos los genes que codifican para la producción de enzimas que ayudan a que la célula secuestre los metales en su interior. Con ésta investigación se puede obtener una forma de "limpiar" suelos contaminados con metales y así poder aprovecharlos como campo de cultivo. ⁽²⁸⁾

Se ha trabajado intensamente para tratar de transferir las características de resistencia al estrés presentes en especies silvestres hacia las cultivadas. Sin embargo, se requiere mayor conocimiento de las bases fisiológicas, bioquímicas y genéticas de las respuestas que las plantas tienen al ambiente para poder progresar significativamente en esta área.

3.7 Cultivos con mayor rendimiento

Una de las principales preocupaciones del hombre en el ámbito alimenticio es cómo resolver el problema de la escasez de alimentos que se espera para las próximas décadas. Es por eso que se están realizando enormes esfuerzos en varias partes del mundo para lograr por medio de la ingeniería genética nuevas variedades de cultivos sobre todo de arroz, de mayor rendimiento.

Un grupo de investigadores chinos y estadounidenses están trabajando en la creación de un arroz cuyo cultivo alcance duplicar el rendimiento del arroz

convencional. Se espera que para el año 2008 ya se pueda contar con este tipo de cultivo. ⁽²⁹⁾

Una de las principales tecnologías de la "Revolución Verde", fue la creación de variedades de trigo semienanas de alto rendimiento. Se trata de plantas en las que una hormona del crecimiento (giberelina) no produce en el mismo grado los efectos que produce en otras plantas, por la existencia de una mutación en un gen, el cual ha sido aislado e insertado en la planta *Arabidopsis thaliana* para poder ser estudiado detalladamente. Estas variedades son más bajas, tienen más grano, menos paja y son más resistentes al viento y la lluvia. ⁽³⁰⁾

En el trigo, el enanismo lo controla un solo gen denominado Rht, que impide que las células del tallo se estiren durante el crecimiento de la planta. Formas mutadas de este gen hacen que la planta sea parcialmente insensible a la hormona del crecimiento, lo que hace que sea más corta. De esta forma, la planta pone menos recursos en la producción de paja y más en el desarrollo del grano, lo que explica el mayor rendimiento. Los científicos introdujeron este gen del enanismo en arroz, obteniendo plantas enanas, lo que demuestra que es un gen aplicable de forma generalizada a otras plantas. ⁽³⁰⁾

Nick Harberd,(1999) director del equipo responsable de esta investigación, señaló: "Al aislar un único gen que controla la altura de las plantas, podemos convertir cualquier variedad adaptada a un lugar determinado y de bajo rendimiento en una variedad enana que potencialmente tenga mayor rendimiento sin modificar el resto de la dotación genética".

Es evidente que se ha logrado un gran avance en cuanto a la pretensión de obtener cultivos de más alto rendimiento, sin embargo, todavía queda un largo camino por recorrer hasta alcanzar variedades transgénicas de cereales cuyo mayor rendimiento justifique su explotación comercial, ya que lo que se conoce ahora, sobre todo para el trigo, puede no resultar cierto en igual grado en otras variedades. ⁽³⁰⁾

3.8 Alimentos con propiedades terapéuticas

Aunque las plantas se han empleado desde la antigüedad como fuente de compuestos medicinales, ha sido hasta ahora que se han utilizado como biofábricas por medio de la ingeniería genética para producir diferentes compuestos de interés para la salud humana. ⁽³²⁾

El concepto más reciente aplicado a los vegetales modificados genéticamente, se refiere a la idea de utilizar plantas que puedan ser cultivadas y cosechadas para producir vacunas y cuya única diferencia con cualquier otra hortaliza es que entre sus genes llevan uno que le confiere inmunidad contra una determinada enfermedad. Éstas introducen en el organismo al ser consumidas, el antígeno del agente infeccioso sin desencadenar una infección real pero se consigue que el sistema inmune se active.

Se ha demostrado que esta idea es totalmente viable empleando diversas proteínas bacterianas y virales. Incluso ya se logró desarrollar maíz transgénico que puede ser empleado como un medio para vacunar contra el SIDA. ⁽³³⁾

Se han desarrollado exitosamente varias pruebas clínicas con voluntarios humanos en las cuales los antígenos consumidos presentes en el tejido vegetal fueron capaces de inducir una respuesta inmune significativa. ⁽³²⁾ Algunos ejemplos que ilustran la variedad de antígenos expresados en plantas transgénicas se muestran en la tabla 3.1. En general, los niveles de expresión de las proteínas producidas en plantas transgénicas han sido menor al 1% de la proteína total soluble (PTS), los cuales se deben aumentar aún más para permitir su producción comercial. ⁽³⁴⁾

Por otro lado, un grupo de científicos americanos, logró crear un tomate que presenta una cantidad 3 veces mayor de licopeno, que el tomate convencional. Se trata de un compuesto anticancerígeno que gracias a su poder antioxidante contribuye a reducir en un 45% el riesgo de cáncer de próstata. Esta variedad de tomate podría estar disponible en los supermercados en 1 ó 2 años, según afirmaron sus creadores. ^(35, 36)

3.9 Mejora genética de microorganismos y enzimas

La tecnología del ADN recombinante está jugando un papel clave en el procesamiento de alimentos, al tener como propósito el mantener o incrementar su eficiencia a través de mejoras genéticas en microorganismos como bacterias y levaduras responsables de llevar a cabo el proceso de fermentación en determinados alimentos. De igual manera, ofrece el poder lograr una producción eficiente de enzimas especializadas involucradas también en la producción de alimentos. Las

enzimas alimentarias derivadas de la tecnología del ADN_r para uso comercial y las que todavía se encuentran en fase de experimentación, se enumeran en la tabla 3.2. En la tabla 3.3 se mencionan algunos ejemplos de microorganismos modificados a través de la biotecnología del ADN_r, para el bioprocesamiento de alimentos y que actualmente están aprobados.

3.10 Principales características genéticas introducidas en los cultivos a nivel mundial

De acuerdo a los datos del ISAAA en cuanto a las principales características genéticas introducidas en los cultivos en 1999, (Gráfica 3.1) el énfasis ha sido hacia la producción de plantas con tolerancia a herbicidas (28.1 millones de ha), siguiendo los cultivos con resistencia a insectos (8.9 millones de ha), cultivos con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas (2.9 millones de ha) y en menor grado los cultivos con resistencia a virus (menos de 0.1 millones de ha).⁽⁶³⁾

3.11 Principales países productores y comercializadores de alimentos transgénicos a nivel mundial

Según los datos del International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application (ISAAA) el principal productor mundial de plantas transgénicas es Estados Unidos, con una participación del 72% en 1999, año en el cual este país sembró un total de 28.7 millones de ha. (Tabla 3.4) El segundo productor mundial es Argentina con una participación del 17% con 6.7 millones de ha sembradas y en tercer lugar se ubica Canadá con una participación del 10% con 4.0 millones de ha sembradas. Estos tres países concentran el 99% de la producción de

transgénicos (para conocer los principales cultivos transgénicos en orden de importancia de estos tres países ver la tabla 3.5) y el 1% restante es producido por otros países como China, Australia, México, España, Francia y Sudamérica.

3.12 Producción y comercialización de alimentos transgénicos en México

Hasta la fecha se han realizado varios estudios para la obtención de variedades modificadas genéticamente. Algunos aún se encuentran en desarrollo y otros ya han sido aceptados para ser comercializados. En la tabla 3.6 se encuentran los alimentos modificados genéticamente permitidos en nuestro país.

México junto con Argentina son los países latinoamericanos que han entrado con mayor fuerza en la producción y comercialización de productos transgénicos. De acuerdo con las estadísticas del ISAAA, los principales cultivos transgénicos en México son las variedades de jitomate con la característica de maduración tardía, y las variedades de algodón con resistencia a insectos y resistencia al herbicida glifosato. ⁽⁶³⁾ En nuestro país se encuentran al menos tres variedades de maíz transgénico en etapa de investigación en el CIMMYT; sin embargo, a raíz de la presión de grupos ambientalistas éstas fueron suspendidas temporalmente. ⁽⁶³⁾

Tabla 3.1 Proteínas con aplicaciones para vacunas humanas expresadas en plantas transgénicas.

Origen de la proteína	Proteína o péptido expresado	Planta	Nivel máximo de expresión registrado en la planta
<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Subunidad B de la toxina sensible al calor	Tabaco	< 0.01% PTS
<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Subunidad B de la toxina sensible al calor	Papa	0.19% PTS
<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Subunidad B de la toxina sensible al calor	Maíz	No registrado
<i>Vibrio cholerae</i>	Subunidad B de la toxina sensible al calor	Papa	0.30% PTS
Virus de la hepatitis B	Proteína superficial de la cubierta	Tabaco	< 0.01% PTS
Virus de la hepatitis B	Proteína superficial de la cubierta	Papa	< 0.01% PTS
Virus de la hepatitis B	Proteína superficial de la cubierta	Lechuga	< 0.01% PTS
Virus de Norwalk	Proteína de la cápside	Tabaco	0.23 % PTS
Virus de Norwalk	Proteína de la cápside	Papa	0.37% PTS
Virus de la rabia	Glicoproteína	Tomate	1.00% PTS

Fuente: Miguel A. Gómez Lim.(2001) ⁽³⁴⁾

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.2 Enzimas alimentarias derivadas de la tecnología del ADNr aprobadas en EUA

ENZIMA	APLICACIÓN	APROBACIÓN COMERCIAL
Quimosina	Coagulación de la leche en la elaboración de queso.	Aprobada comercialmente.
Lactasa	Hidrólisis de lactosa	Aprobada comercialmente.
Alfa-amilasa	Producción de jarabe de maíz de alta fructosa	Aprobada comercialmente
Glucosa isomerasa	Producción de jarabe de maíz de alta fructosa	Aprobada comercialmente
Acetolactato decarboxilasa	Maduración de cerveza y reducción de diacetilo	Aprobada comercialmente. Pendiente en el Reino Unido.
Beta-glucanasa	Degradación de beta-glucanos en la producción de cerveza.	Aprobada comercialmente.
Alfa-amilasa maltogénica	Evita el envejecimiento del pan	Aprobada comercialmente
Xilanasa	Mejora en la estructura de miga y volumen de hogaza en el procesamiento de masa para pan.	En revisión
Hemicelulasas	Mejora en la estructura de miga y volumen de hogaza en el procesamiento de masa para pan.	Aprobada comercialmente
Pectinasas	Clarificación de jugos de frutas.	Aprobación comercial pendiente.

Fuente: IFT Expert Report on Biotechnology and Foods. (2000)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.3 Microorganismos derivados de la tecnología del ADNr para uso en procesamiento de alimentos

MICROORGANISMO	MODIFICACIÓN GENÉTICA	APROBACIÓN COMERCIAL
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Contiene los genes que permiten la expresión constante de las enzimas necesarias para la fermentación de maltosa en la elaboración de pan.	Aprobada en el Reino Unido en 1999; no se usa comercialmente.
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Contiene los genes necesarios para la producción de glucoamilasa para la degradación de dextrano y producción de glucosa fermentable en la elaboración de cerveza.	Aprobada en el Reino Unido en 1994
<i>Lactococcus lactis</i>	Contiene los genes que le dan resistencia frente a fagos, actividad proteolítica y producción de bacteriocinas; características de importancia para la industria lechera.	Empleada comercialmente desde 1985

Fuente: IFT Expert Report on Biotechnology and Foods. (2000)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.4 Superficie cultivada de plantas transgénicas en los principales países productores a nivel mundial en 1999

PAÍS	PORCENTAJE DE LA PARTICIPACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS	SUPERFICIE CULTIVADA (MILLONES DE HA)
Estados Unidos	72%	28.7
Argentina	17%	6.7
Canadá	10%	4.0
China	<1%	0.3
Australia	<1%	0.1
México	<1%	<0.1
España	<1%	<0.1
Francia	<1%	<0.1
Sudáfrica	<1%	<0.1

Fuente: Elaborado en base a los datos del ISAAA, 1999 ⁽⁶³⁾

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 3.5 Principales cultivos transgénicos sembrados en E.U., Argentina y Canadá

PAÍS	CULTIVO	CARACTERÍSTICA INTRODUCIDA
Estados Unidos	soya	tolerante a herbicida
	maíz	tolerante a herbicida y resistente a insectos
	maíz	tolerante a herbicida
	algodón	tolerante a herbicida
	algodón	resistente a insectos
	algodón	tolerante a herbicida y resistente a insectos
	papa	resistente a insectos
Argentina	soya	tolerante a herbicida
	maíz	resistente a insectos
	maíz	tolerante a herbicida
	algodón	resistente a insectos
Canadá	canola	tolerante a herbicida
	maíz	resistente a insectos
	papa	resistente a insectos

Fuente: Secretaría del CORECA ⁽⁶³⁾

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 3.6 Alimentos modificados genéticamente para consumo humano que se han evaluado y aceptado para su comercialización en México.

AÑO	PRODUCTO	GENES INTRODUCIDOS
1995	Jitomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) de maduración retardada	Gen de poligalacturonasa del jitomate en antisentido
1996	Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) resistente a la catarinita de la papa	Gen Cry IIIA de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp tenebrionis
	Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) resistente a insectos lepidópteros	Gen Cry I(C) de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp kurstaki
	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	Jitomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) de maduración retardada	Fragmento del gen de la Aminociclopropano ácido carboxílico sintetasa del jitomate
1999	Canola (<i>Brassica napus</i>) resistente al herbicida glifosinato de amonio	Gen de fosfinotricina acetil transferasa de <i>Streptomyces viridochromogenes</i>

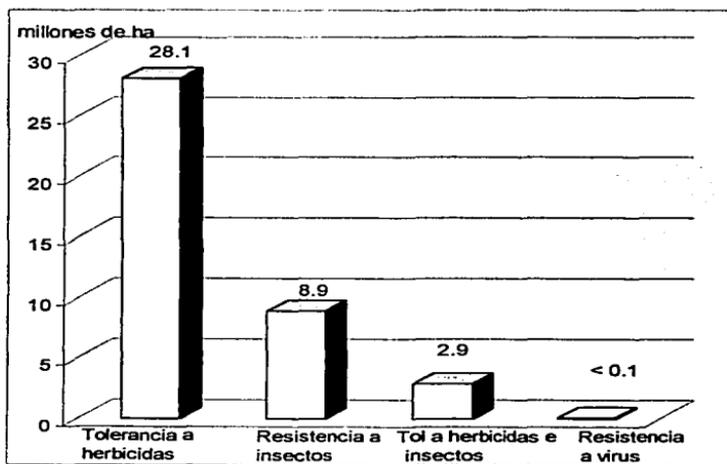
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AÑO	PRODUCTO	GENES INTRODUCIDOS
2000	Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) resistente al herbicida glifosato	Gen EPSPS de <i>Agrobacterium spp</i> cepa CP4
2001	Canola (<i>Brassica napus</i>) resistente al herbicida glufosinato de amonio	Gen de fosfinotricina 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 tenebrionis 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 tenebrionis y gen de la proteína de la cápside del virus PVY

Fuente: Sitio de internet de la Secretaría de Salud ⁽³¹⁾

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.1 Principales características genéticas introducidas a nivel mundial en 1999 en 1999



Fuente: Secretaría del CORECA ⁽⁶³⁾

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV. Beneficios de la tecnología del ADNr aplicada a los alimentos

Es evidente que a lo largo de la historia de la humanidad, la agricultura ha perseguido un objetivo específico: proveer de alimento suficiente para mantener el crecimiento de la población. Uno de los grandes retos que enfrenta actualmente el hombre, se refiere a cómo poder lograr prácticas agrícolas sostenibles que no dañen la salud, el medio ambiente y el bienestar económico de las generaciones presentes y futuras. Para pensar en términos de una agricultura sostenible, se deben identificar y reducir los factores responsables del deterioro del suelo, el agua y el ambiente que afectan a la producción agrícola. Hoy en día, gracias a los beneficios que nos brinda la biotecnología del ADNr, estos retos pueden llevarse a cabo cumpliendo con las expectativas tanto de consumidores como de agricultores. Sin embargo, la aceptación de los cultivos derivados de esta tecnología no se llevará a cabo hasta que exista una verdadera convicción por parte de los mismos sobre las ventajas que esta tecnología nos puede brindar, las cuales se describen a continuación.

4.1 Beneficios para la agricultura

4.1.1 Control más efectivo de insectos, malezas y enfermedades

Gracias a la biotecnología ha sido posible obtener cultivos que se autoprotegen frente a plagas de insectos, virus y herbicidas. Este tipo de protección aporta una serie de ventajas muy importantes para la agricultura como lo muestra un estudio realizado por el Servicio Internacional para la Investigación Nacional de la Agricultura, el cual reveló que productores agrícolas mexicanos se han logrado

beneficiar del algodón modificado genéticamente resistente a insectos (algodón Bt). El cultivar el algodón Bt ha sido de gran contribución para la agricultura debido a la disminución del uso de plaguicidas, además de que ha aumentado la rentabilidad del algodón y la competitividad, y se ha reducido el riesgo de que se deterioren los cultivos debido a plagas de insectos, en particular la del gusano rosado. ⁽³⁷⁾

Las variedades de algodón Bt fueron introducidas en 1996 en Estados Unidos y fueron adoptadas rápidamente en algunas áreas de producción aldonera. El beneficio primario para los agricultores que adoptaron las variedades de algodón Bt es que se logró controlar eficazmente tres de las principales plagas que infestan el algodón: la oruga del tabaco, el gorgojo del algodón y el gorgojo rosado. Los datos del Departamento de Agricultura sobre el uso de pesticidas muestran que desde que se introdujeron las variedades de algodón Bt, hubo una reducción de 907.200 kg de insecticidas que se emplean para el control de estos insectos. ⁽³⁸⁾

En México se siembran anualmente 90 mil hectáreas de algodono de las cuales sólo el 20% se siembra con algodones transgénicos que contienen el gen Bollgard[®] con resistencia al gusano rosado *Pectinophora gossypiella* y bellotero *Heliothis* sp. El gusano rosado ha sido una de las principales plagas de las áreas aldoneras del Norte de México (Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas) y Noroeste (Sonora y Baja California) desde su aparición, a principios de 1960. La introducción de algodones transgénicos Bollgard[®] ha traído fuertes beneficios

económicos para estas regiones. En la Comarca Lagunera, desde 1998, el 85% de las 7 mil ha sembradas se han establecido con variedades transgénicas reduciendo el daño por el gusano rosado, al mismo tiempo que se ha incrementado el rendimiento de fibra de algodonoero. Se dejaron de aplicar 16 kg de ingrediente activo por ha de insecticidas contra la plaga, obteniéndose enormes beneficios económicos y ecológicos. ⁽¹⁰⁶⁾

En el caso del Valle de Mexicali, B.C. el uso de variedades Bollgard® se incrementó de 240 ha en 1999 a 3300 hectáreas en 2001. En 1999 se reportó un beneficio económico de 3,200 pesos por hectárea por el uso de algodón Bollgard® en áreas de alta infestación de gusano rosado en el Valle de Mexicali, mientras que en la región de Caborca y Sonora, Son., se reportaron aproximadamente \$4,100 /ha a favor de Bollgard® debido a la reducción de aplicaciones contra el gusano rosado y al incremento en el rendimiento de fibra algodón por hectárea. ⁽¹⁰⁶⁾

La Algodonera de Baja California, empresa líder en México, incrementó su superficie de variedades transgénicas de 840 ha a 2750 ha en el 2001, lo que representa el 76% de la superficie establecida por esta empresa. Esto debido principalmente a la confiabilidad de comercialización de la fibra de alta calidad y a la disminución del daño ocasionado por el gusano rosado. Además, se han dejado de aplicar aproximadamente 5304 litros de insecticidas específicos para gusano rosado y bellotero, lo cual representa una menor contaminación del ambiente de productos altamente tóxicos. ⁽¹⁰⁶⁾

A pesar de que el cultivo de algodón transgénico no es de importancia alimentaria, se decidió exponer en este capítulo algunos casos sobre los beneficios que esta variedad ha brindado, pues son un ejemplo claro de las enormes ventajas que la biotecnología del ADN^r puede ofrecer a la agricultura.

Según un informe emitido por el Centro Nacional sobre Normas Alimenticias y Agrícolas (National Center for Food and Agricultural Policy), los cultivos mejorados por la biotecnología son efectivos en el control de las infestaciones de insectos. En especial el maíz Bt ha demostrado tener mucho éxito en el control de plagas agrícolas. La adopción de semillas transgénicas ha reemplazado el uso de rociadores químicos que se han vuelto ineficaces contra las plagas de insectos en ciertas regiones. El resultado fue la ganancia total en campos de maíz de 47 millones de bushels en 1997 con respecto a 4 millones de acres de maíz Bt y 60 millones de bushels* adicionales con respecto a 14 millones de acres en 1998. ⁽³⁹⁾

* El bushel es una unidad de medida para granos por volumen y equivale a 8 galones

La variedad de soya "Roundup Ready" resistente al herbicida glifosato, fue introducida en Estados Unidos en 1996. La ventaja principal de dicha soya consiste en que el control de malezas se logra de una manera muy simple que requiere la aplicación del herbicida después de la germinación para controlar una amplia gama de malas hierbas sin perjudicar al cultivo o sin restricciones de rotación del mismo. Aunque los cultivadores de soya tienen muchas opciones de herbicidas para aplicar después de la germinación, ninguno tiene la amplia gama de control de la maleza como el herbicida "Roundup" (nombre comercial del herbicida glifosato). Además, muchos herbicidas convencionales causan daños al cultivo, incluso retardo en el crecimiento, mientras que "Roundup" puede aplicarse sobre las variedades "Roundup Ready" en cualquier etapa del crecimiento sin causar daño.⁽⁴⁰⁾

Otro problema es que los herbicidas pueden dañar a los cultivos de rotación subsiguientes debido a la permanencia de los materiales en el suelo, sin embargo, con el uso de "Roundup", no hay restricciones de rotación de cultivos debido a que no tiene actividad residual. ⁽⁴⁰⁾

Un informe del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos anunció que el uso de variedades vegetales modificadas genéticamente reducen el uso de insecticida en un 80%. Además, las conclusiones del informe oficial norteamericano revelaron que hubo un "importante aumento en las producciones" así como "una considerable reducción de los tratamientos con herbicidas e insecticidas contra plagas específicas". ⁽⁴¹⁾

Así mismo, los datos de rendimiento y de empleo de fitosanitarios fueron comparados entre los agricultores que adoptaron las variedades transgénicas y los que no lo hicieron. Finalmente se concluyó que hubo un número inferior de tratamientos con insecticidas para plagas específicas en variedades de maíz y algodón modificados genéticamente, así como de los herbicidas destinados a la soya. Por otro lado, el empleo de algodón y maíz transgénicos fue asociado con un rendimiento significativamente elevado en algunas regiones.⁽⁴¹⁾

La Universidad de Reading (Reino Unido) y la Universidad de Pretoria (Sudáfrica), se unieron para realizar un estudio sobre los beneficios que se tuvieron específicamente durante 1999 en Sudáfrica al cultivar algodón Bt. El trabajo consistió en hacer una comparación entre los cultivos tradicionales y los genéticamente modificados en cuanto a rendimiento y cantidad empleada de plaguicidas. Ese año (1999), particularmente fue uno de los más lluviosos, lo que ocasionó que se incrementara el problema de las plagas de insectos. Sin embargo, se encontró que los cultivos de algodón Bt lograron resistir mucho mejor la infestación y se concluyó que gracias a la adopción de la nueva tecnología se logró un incremento del rendimiento del cultivo del 40% y se redujeron los costos de producción debido a que se emplearon menos plaguicidas.⁽⁴²⁾

Las enfermedades virales son un grave problema para los agricultores. Se estima que el 20% de las pérdidas ocurridas en vegetales se deben a este mal, pues algunos virus como el del cacahuete, persisten en la tierra incluso después de

varios años y de esta manera se pueden producir esporas muy resistentes. ⁽¹⁶⁾
Otro problema es que se trasmite al utilizar semillas infectadas.

Un ejemplo sobre los beneficios que ofrece la tecnología del ADNr para resolver este problema es el caso del virus de la mancha anular de la papaya en Hawai, que amenazaba con terminar con los cultivos y terminar con el medio de vida de los agricultores.

Actualmente el 40% de las plantaciones de papaya de Hawai son variedades transgénicas resistentes a este virus. ⁽¹⁵⁾ Con respecto al caso del virus del cacahuete se está trabajando intensamente para lograr una variedad resistente y así poder combatirlo. ⁽¹⁶⁾

Estos estudios confirman que varios beneficios pueden ser adquiridos por los productores en un amplio rango de cultivos a lo largo de diversas regiones del mundo.

4.1.2 Mejora del rendimiento de los cultivos

El mundo no produce la suficiente cantidad de alimentos para satisfacer las demandas del siglo XXI. Según la Organización Mundial de la Salud (WHO) hoy en día la población mundial ya sobrepasó los 6.000 millones y se predice que para el año 2050 este número aumentará a los 9.000 millones de personas. ⁽⁴³⁾ Se predice que para este año se va a necesitar que el rendimiento agrícola mundial

sea de 2.5 a 3 veces mayor que el de las cosechas actuales, para proveer de una dieta de alta calidad para la población de todo el mundo.

La modificación genética puede contribuir a solucionar el problema de déficit alimentario de la población mundial, ya que los cultivos derivados de la biotecnología del ADN_r pueden ser desarrollados para prosperar bajo condiciones que antes limitaban o impedían el crecimiento, además se han desarrollado cultivos transgénicos que alcanzan mayores rendimientos, por un lado gracias a un combate más eficiente de plagas y enfermedades y por otro debido a la obtención de variedades como la del arroz, donde se ha insertado el gen del enanismo para aumentar la productividad del cultivo.

Recientemente se publicó un reporte en donde se describe cómo por medio de la tecnología del ADN_r es posible incrementar el rendimiento de los cultivos. ⁽⁴⁴⁾ En este caso se habla particularmente del maíz Bt, (resistente al gusano barrenador) el cual fue plantado en varias regiones de Filipinas y en todas ellas se mostró un incremento del rendimiento del 40% comparado con el cultivo tradicional. Se observó que este aumento se debe a que el cultivo logró resistir esta plaga, la cual es considerada el principal problema para los agricultores en estas regiones. Se registró que no hubo daño alguno en el cultivo, obteniéndose así una cosecha de mejor calidad que permitió comprobar que la variedad de maíz Bt realmente está protegida contra este tipo de plaga que es el principal causante de los daños que sufren los cultivos y trae como consecuencia un descenso del rendimiento de la cosecha. ⁽⁴⁴⁾

En otro informe publicado, se afirmó que la ventaja principal de las variedades de maíz Bt adoptadas por agricultores norteamericanos ha sido el aumento del rendimiento. ⁽⁴⁵⁾ Las variedades de maíz Bt han proporcionado un control efectivo para una de las principales plagas de insectos en el maíz; el gusano europeo barrenador. Las pérdidas causadas por esta plaga varían cada año conforme a los niveles de infestación y generalmente son impredecibles de un año al otro. Se estima que el gusano europeo barrenador del maíz ha causado pérdidas a la producción que van de 33 millones de bushels a más de 300 millones de bushels por año. Se ha mostrado que las variedades de maíz Bt proveen un alto nivel de protección contra la plaga, las plantas sufren sólo daños mínimos y durante los años de gran infestación los agricultores tienen aumentos importantes del rendimiento del cultivo. ⁽⁴⁵⁾

Tomando varios resultados de diversas investigaciones, se compararon los rendimientos de campos sembrados con maíz Bt contra los que se cultivaron con variedades comunes y el resultado indicó que los agricultores que cultivaron el maíz Bt, tuvieron un aumento del rendimiento de aproximadamente 12 bushels por 0.4 hectárea en 1997 y 4 bushels por 0.4 hectárea en 1998. ⁽³⁸⁾

La búsqueda en la obtención de cultivos de alto rendimiento como el caso de la variedad del arroz enano mencionado en el capítulo anterior, así como los ejemplos mencionados arriba, nos muestran claramente que la biotecnología es una valiosa herramienta de la que se dispone hoy en día para poder conseguir una agricultura más productiva. Así mismo, lo afirmó el director general de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

Jacques Diouf, (2000), durante la II Cumbre Mundial de la Alimentación, en donde aseveró que actualmente no es posible disponer de más tierras para cultivar como consecuencia, entre otros factores, de la creciente urbanización y de la fragilidad del medio ambiente. Y por este motivo "se hace necesario incrementar la productividad y para ello no se debe eliminar el potencial científico de la biotecnología".⁽⁴⁶⁾

4.1.3 Tolerancia al estrés abiótico

La creación de alimentos por medio de la biotecnología que pueden crecer en condiciones de alta salinidad, presencia de metales o lugares donde hay escasez de agua, ofrece una alternativa real para los problemas de producción de alimentos en estas zonas.

El jitomate tolerante a la sal ayuda a resolver un problema principal en la agricultura dado que la producción del cultivo se ve limitada por la salinidad hasta en un 40%. Este desarrollo puede beneficiar a países como India, China, Pakistán y el oeste de los Estados Unidos, donde existen tierras amenazadas por depósitos de sal. Además, la creación de este tipo de jitomates, ofrecen la posibilidad de que otros cultivos también puedan ser modificados genéticamente para su uso en áreas que son irrigadas con agua salada y con suelos dañados por la sal.⁽⁴⁷⁾

Del mismo modo, las investigaciones que hasta ahora se han realizado para obtener plantas resistentes a sequías o zonas con alto contenido en metales como

el aluminio, lograrán que se puedan aprovechar zonas que hoy en día no son posibles de cultivar o que provocan cosechas reducidas.

4.1.4 Mejora en la vida útil de frutas y vegetales frescos

Gracias a la biotecnología se ha logrado desarrollar productos a los cuales se les ha incorporado un gen que les permite prolongar el período de vida al retrasar su proceso de maduración. Esta modificación beneficia la comercialización del producto, disminuyendo las pérdidas poscosecha y aumentando el período de exposición del producto en los anaqueles de los supermercados. Existe la posibilidad de que los agricultores se beneficien con este tipo de cultivos, pues eso podría darles mayor flexibilidad para la distribución de sus productos de la que disponen. En muchos casos, los agricultores sufren graves pérdidas debido a la maduración o reblandecimiento excesivo de las frutas y verduras.

4.2 Beneficios para la salud

4.2.1 Mejora en la inocuidad de los alimentos

Estudios preliminares han demostrado que los alimentos derivados de la tecnología del ADN^r pueden contribuir a la creación de productos inocuos. Por ejemplo, se ha demostrado que el maíz Bt con resistencia al gusano barrenador del maíz, tiene niveles de una micotoxina llamada fumonicina; entre 30 y 40 veces más bajos que las variedades convencionales. ⁽⁴⁸⁾ La fumonicina es un agente potencial cancerígeno que a menudo se encuentra en grandes cantidades en granos que han sido dañados por los insectos, provocando graves problemas de salud, así como para la exportación. La razón es que al tener menos ataques de

insectos también tienen menos ataques de hongos patógenos, que en muchas ocasiones penetran en la planta a través de los túneles y heridas provocados por los insectos. ^(49,50) Estos resultados pueden llevar a la creación de variedades de maíz con resistencia a plagas, logrando al mismo tiempo, una mayor protección contra agentes cancerígenos como las micotoxinas.

4.2.2 Creación de alimentos con propiedades terapéuticas

Con el gran avance de la investigación cada vez nos acercamos más a la posibilidad de producir comercialmente en plantas, vacunas y sustancias terapéuticas para tratar y prevenir enfermedades como la hepatitis, cólera, SIDA y cáncer entre otras. La producción de estas sustancias medicinales a través de la modificación genética de plantas ofrece múltiples ventajas. En el caso de la producción de vacunas en alimentos, ya no sería necesario requerir de la llamada "cadena fría", disminuyéndose los costos de transporte y almacenamiento. También se ofrece un método alternativo de administración: alimentación vs inyección,⁽⁵⁾ evitándose por un lado el gasto de materiales como agujas, jeringas, etc. , y por otro el riesgo de contraer infecciones en el caso de emplear material para vacunación que no haya sido esterilizado. Estos alimentos se pueden producir de una forma más económica que otro tipo de medicamentos sin la necesidad de contar con instalaciones sofisticadas y costosas, son seguros de aplicar y de fácil distribución. ⁽²⁵⁾ Este desarrollo tiene el potencial de promover la salud alrededor del mundo, salvando millones de vidas sobretodo en los países más pobres. En el caso de la producción de variedades que presenten un

aumento en la producción de sustancias con propiedades benéficas para la salud como el caso del jitomate con mayor contenido de licopeno,⁽³⁵⁾ los beneficios se enfocan a que se puede aplicar el mismo procedimiento para aumentar el contenido de fitonutrientes en otras frutas y vegetales.

4.2.3 Creación de alimentos con valores nutritivos adicionales

La biotecnología del ADN^r tiene el potencial de mejorar la condición nutricional de las poblaciones a nivel mundial, mejorando la calidad de los alimentos incrementando su valor nutritivo y asegurando la salud humana. Se pueden desarrollar alimentos para corregir los problemas específicos de desnutrición como es el caso de la deficiencia de vitamina A que afecta a millones de niños causándoles ceguera y en muchos casos hasta la muerte. El problema de fondo de esta mal nutrición que en su mayoría presentan personas de países en desarrollo, se debe la dependencia de alimentos de alto contenido de almidón como el arroz y la casava o mandioca que no contienen el precursor de esta vitamina; el β - caroteno.⁽⁵¹⁾

La deficiencia de hierro en la dieta es también un serio problema nutrimental que afecta cerca del 30% de la población mundial, especialmente en regiones donde los vegetales conforman la base de su dieta.⁽²¹⁾

Tanto el "arroz dorado", el cual presenta un alto contenido de β - caroteno en el endospermo, como el arroz con alto contenido de hierro, fueron creados como una alternativa para dar solución a estos problemas, pues tanto la fortificación como el

lograr que la gente cambie sus hábitos alimenticios son estrategias poco efectivas.⁽²⁰⁾

Según informa la fundación Antama;⁽⁵²⁾ (una organización sin ánimo de lucro que tiene como finalidad la promoción y realización de todo tipo de actividades que contribuyan a dar a conocer a la sociedad el desarrollo de las nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, el medio ambiente y la alimentación), la investigación del "arroz dorado" no se aparta de sus fines iniciales de solucionar la deficiencia de vitamina A en los países en desarrollo, por lo que apoyará a aquellas instituciones interesadas en estudiar las posibilidades del "arroz dorado" facilitando y compartiendo información sobre estas investigaciones en diferentes partes del mundo.

Para facilitar la llegada del "arroz dorado" a los países en desarrollo se ha establecido un Consejo Humanitario del que forman parte varias instituciones públicas y privadas, y tiene como objetivo principal el hacer accesible de forma gratuita cualquier invención relacionada con el "arroz dorado" para ofrecérsela a todas las instituciones que la necesiten con las máximas garantías de calidad y seguridad.⁽⁵³⁾

4.3 Beneficios ecológicos

4.3.1 Disminución del empleo de insecticidas y herbicidas

Los agricultores han aceptado con agrado los beneficios ecológicos que exhiben las nuevas variedades de cultivos transgénicos, los cuales principalmente

presentan resistencia a plagas de insectos (cultivos Bt) y tolerancia a herbicidas. Entre estos beneficios se encuentran la reducción en la cantidad total de plaguicidas empleados, lo cual tiene un impacto positivo en la biodiversidad, pues no daña a los organismos no blanco, contribuye a un ambiente más seguro y favorece la simplificación de las prácticas agrícolas al haber un mayor control de las malas hierbas.

Un artículo recientemente publicado describe los resultados de estudios realizados para documentar la aceptación y los beneficios que los agricultores chinos han obtenido al adoptar esta tecnología. ⁽⁵⁴⁾ Se encontró que el uso de insecticidas en la región de Hebei; China, para cultivos de algodón Bt durante 1998, se redujo en un 80%. Como consecuencia se registró también que los agricultores de esta región mostraron menos malestares físicos como náuseas, vómito, dolor de cabeza y problemas digestivos que los que trabajaron con el cultivo convencional.

Por otro lado, una investigación realizada por el Centro Nacional para la Agricultura y la Alimentación (National Center for Food and Agricultural), ubicada en Washington, declaró que en Estados Unidos durante el 2001 hubo una disminución realmente considerable en la cantidad de insecticida empleado debido al cultivo de variedades transgénicas resistentes a insectos de algodón, canola, soya y maíz. Se estima que se logró ahorrar hasta 20 millones de kg de producto químico. ⁽⁵⁵⁾

La Asociación Americana de Soya, publicó que los cultivos de soya tolerante al herbicida glifosato se dañan menos al aplicárselos, además de que se ha visto un incremento en la agricultura sin arado, pues existe un manejo más fácil de las malas hierbas y la intervención de los tractores en el cultivo se ha visto disminuida ahorrándose millones de galones de combustible. ⁽⁵⁶⁾ El amplio espectro que brinda el glifosato contra las malas hierbas, beneficia a los productores de soya al no tener que llevar a cabo múltiples aplicaciones de combinaciones de otros herbicidas.

Extensas pruebas realizadas por el fabricante de este herbicida, han mostrado que tiene muy baja toxicidad para los mamíferos y que se degrada rápidamente en el suelo después de la aplicación. Su degradación produce al final dióxido de carbono y agua y no se han identificado productos intermedios o derivados tóxicos entre sus productos de degradación. ⁽⁵⁷⁾

Según estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), gracias a la adopción de cultivos con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas, se ha reducido de una manera muy significativa la concentración de pesticidas tanto en aguas superficiales como en la del subsuelo. ⁽⁵⁸⁾ Con este estudio se pretende evidenciar que los cultivos transgénicos no dañan el medio ambiente, por el contrario, se trata de una herramienta valiosa con la cual se puede lograr una agricultura más limpia sin efectos adversos hacia la biodiversidad.

Estudios realizados en cultivos transgénicos de soya, maíz y algodón tolerantes a herbicidas, así como las correspondientes variedades resistentes a insectos confirman los grandes beneficios que la tecnología ya ha causado a los productores de Estados Unidos, al promover la reducción del uso de herbicidas e insecticidas y disminuir los costos de producción. El empleo de estas variedades transgénicas redujo el uso de químicos por un total de 22.3 millones de kg de producto formulado en el año 2000, según investigadores del Departamento de Agricultura de la Universidad de Reading, en el Reino Unido. ⁽⁵⁹⁾

Otro estudio realizado también por esta misma agrupación, publicó un trabajo que demuestra que los cultivos modificados genéticamente reducen la necesidad de usar pesticidas. En el artículo se afirma que hasta el descubrimiento de las variedades modificadas genéticamente la única forma de combatir los efectos negativos de las plagas era el uso de productos químicos, pero en los últimos años y gracias a la aplicación de la biotecnología, se ha reducido el uso de estos productos. Como ejemplo, el estudio destacó que en el año 2000 se ahorraron 22.000 toneladas de productos pesticidas en todo el mundo gracias al uso de variedades modificadas genéticamente. ⁽⁶⁰⁾

Un estudio de la Universidad del Estado de Iowa (Estados Unidos), recientemente publicado, consistió en realizar un seguimiento del cultivo de maíz Bt en el medio oeste norteamericano durante tres años. Éste mostró que el cultivo de variedades Bt redujo el uso de insecticidas en el cultivo de maíz. Según el estudio, en el cual se hizo una encuesta a los agricultores, el 13% de los mismos, redujeron la utilización de insecticidas el primer año, el 19% en el segundo y el 26% en el

tercer año (el estudio está hecho en base a las cosechas de 1996, 1997 y 1998). Aproximadamente la mitad de los agricultores encuestados no utilizaban ningún tipo de insecticida al cabo de tres años de sembrar variedades Bt. ⁽⁶¹⁾

En China también se han obtenido beneficios para la ecología al decidir cultivar algodón Bt, pues se ha logrado una reducción del 70-80% en el uso de pesticidas, según una investigación realizada por La Academia China de Ciencias Agrícolas. ⁽⁶²⁾

La introducción de tolerancia a herbicidas ha contribuido al desarrollo de la agricultura sin arado, con beneficios que incluyen reducciones en la erosión del suelo y la contaminación del aire cuando se queman los residuos de los cultivos. ⁽⁵⁾

La biotecnología del ADN_r ciertamente puede jugar un papel importante en el desarrollo de una agricultura que usa menos y más benignos productos químicos que en el caso de las variedades convencionales, presentando un menor peligro hacia la salud de productores y consumidores.

4.4 Beneficios económicos

4.4.1 Menor dependencia de insecticidas y herbicidas químicos

Estudios realizados por el ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application) indican que los ingresos económicos del productor que emplea cultivos transgénicos varía año con año, por producto y por ubicación, dependiendo de factores como nivel de infestación de plagas, nivel epidémico de una enfermedad o la densidad de una maleza. Entre mayor es el grado de

incidencia de plagas, malas hierbas y enfermedades, los beneficios obtenidos de la siembra de este tipo de cultivos será mayor. ⁽⁶³⁾

De acuerdo con información de esta misma institución (ISAAA), entre los beneficios que han reportado los agricultores de Estados Unidos, con respecto a cultivos transgénicos de soya y algodón tolerantes a herbicidas, así como los de maíz, algodón y papa resistentes a insectos, resalta el tener una menor dependencia de los insecticidas y herbicidas convencionales, lo que repercute en un menor costo de producción, mayores niveles de productividad y un producto de mayor calidad.

Entre 1996 y 1997, los productores norteamericanos de soya transgénica lograron reducir el uso de herbicidas entre un 10% y un 40%, el rendimiento se elevó en un 4.7% y se obtuvieron ganancias de US\$29.64 por hectárea. Con respecto al cultivo de maíz Bt (resistente al taladro europeo del maíz), el rendimiento del cultivo aumentó un 9% en 1996 con ganancias de US\$67.30/ha y 7% en 1997 con ganancias de US\$42/ha. El reporte consultado indica que con el empleo de la semilla de algodón Bt, el uso de insecticidas se redujo en un 70% en 1996. Hubo un aumento del 14% de la productividad del cultivo en 1997, lográndose obtener beneficios económicos a nivel del productor de US\$133/ha. ⁽⁶³⁾

Otro estudio de investigación confirma los grandes beneficios económicos que esta tecnología ya ha causado a la agricultura de Estados Unidos. ^(64,65) El National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP); una entidad privada

independiente de estudios y divulgación sobre política agraria y alimentaria, acaba de publicar un estudio sobre el impacto de la biotecnología aplicada a la agricultura norteamericana, en cuanto a la gestión de plagas, enfermedades y malas hierbas. El trabajo confirma el hecho de que en seis cultivos modificados genéticamente (soya, maíz, algodón, papaya, calabaza y colza) se promueve una producción adicional de 1,8 millones de toneladas métricas de alimento o fibra (en el caso del algodón), a igualdad de superficie que de cultivo convencional, mejorando la utilidad de los agricultores en 1.500 millones de dólares, y con una considerable reducción del uso de productos fitosanitarios.

Argentina es el segundo país productor de transgénicos a nivel mundial, se distingue por el alto grado de adopción y desarrollo de estos productos, sólo superado por Estados Unidos. El principal cultivo transgénico en este país es la soya tolerante al herbicida glifosato, el segundo producto importante es el maíz resistente a insectos y le sigue el algodón también con resistencia a insectos. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGYP) de Argentina, el uso de estos productos transgénicos ha permitido un ahorro de US\$120 millones en el costo de implantación del cultivo de soya, debido al menor uso de agroquímicos. En algodón, aunque la experiencia aún es reducida, los primeros resultados con 83 productores, revelan un ahorro de US\$49/ha en el desarrollo del cultivo y una disminución en el ataque de plagas. ⁽⁶³⁾

Canadá se ubica como el tercer productor mundial de transgénicos. Sus principales cultivos son canola, papa y maíz. De acuerdo con el informe

consultado, los productores de canola transgénica lograron reducir el uso de herbicidas en un 70% en 1996 y al siguiente año sólo fue necesario realizar una aplicación de herbicida. Tanto en 1996 como en 1997 el aumento del rendimiento del cultivo fue del 7.5%, obteniéndose ganancias en ambos años de US\$39.19/ha. Con respecto a la papa resistente a insectos, se ha logrado un control efectivo del escarabajo colorado de la papa, con lo que se ha logrado reducir en un 40% el uso de insecticidas. En 1996, el rendimiento del cultivo obtenido, permitió incrementar el tamaño y calidad de la papa lo que representó para los productores un ingreso adicional de US\$35/ha. ⁽⁶³⁾

Un estudio realizado por el Servicio Internacional para la Investigación Nacional de la Agricultura reveló que México se ha visto beneficiado con la biotecnología agrícola. Se investigó sobre el nivel de impacto del algodón *Bt* en Torreón, Coahuila ⁽³⁷⁾ y se concluyó que cultivar con esta variedad transgénica, ha sido una ventaja valiosa debido al menor uso de herbicidas, además de que ha aumentado la rentabilidad del algodón y la competitividad, y se ha reducido el riesgo de que se deterioren los cultivos debido a plagas de insectos, en particular la del gusano rosado.

El estudio reveló además que se generó un estimado de \$2.7 millones de dólares americanos en beneficios económicos anuales por la introducción del algodón *Bt* en Coahuila. De ello, cerca del 15% resultó para los productores y el 15% para los proveedores de las semillas. Los productores que adoptaron la semilla gastaron

US\$100 menos en el control de plagas y tuvieron un rendimiento neto mayor de US\$295/ha que aquellos productores agrícolas que no la adoptaron. ⁽⁶⁶⁾

En China, también se han beneficiado económicamente los agricultores al adoptar cultivos Bt de algodón. El costo de producción se redujo en un 30%, gracias a que el número de aplicaciones de insecticida disminuyó de 20 a 7 por temporada, ahorrándose 49 kg por hectárea de este producto. ⁽⁵⁴⁾

4.5 Beneficios en el bioprocesamiento de alimentos

4.5.1 Mejora de los microorganismos (bacterias, hongos, levaduras) y producción más eficiente de enzimas especializadas

El conocimiento del metabolismo y la capacidad de cambiar la dirección de las vías metabólicas de los microorganismos, brinda la posibilidad de producir ingredientes alimentarios de mayor calidad y pureza, así como nuevos ingredientes para purificación o síntesis, que no están disponibles a través de los métodos convencionales. ⁽⁵⁾ Los ingredientes clave enfocados por la biotecnología del ADN_r incluyen a los ácidos orgánicos (ác. acético, ác. cítrico, ác. glucónico, ác. propiónico, ác. acético), conservadores de bacteriocina, enzimas y microorganismos usados en el procesamiento (bacterias, hongos, levaduras). Esta biotecnología también es importante en la producción de vitaminas y aminoácidos.

Hoy en día, las enzimas son indispensables para la moderna tecnología de procesamiento de alimentos y se ha producido una gran variedad por medio de la

biotecnología del ADNr. La aceptación de su uso en los alimentos se basa en el hecho de que las enzimas que se producen a través de esta tecnología son idénticas a su contraparte natural, los preparados de enzimas están libres de cualquier sustancia nociva que pudiera haberse introducido durante los pasos de bioprocesamiento y purificación (por ejemplo endotoxinas de *Escherichia coli*); y en el producto final no hay microorganismos viables derivados de la biotecnología del ADNr presentes. ⁽⁵⁾ Se pueden obtener enzimas de mayor pureza y especificidad, lo que mejora la eficiencia del procesamiento y la calidad del producto, reduciendo los costos de energía, el desperdicio y el impacto al medio ambiente. ⁽⁶⁷⁾

En el caso del empleo de microorganismos modificados genéticamente para el bioprocesamiento, éstos ofrecen una mejoría en la calidad del producto, debido a que se tiene un mejor control de las fermentaciones.

Es importante notar que los avances en la biotecnología han proporcionado las herramientas para una modificación genética y precisa de microorganismos. En muchos casos se pueden introducir, eliminar o alterar con precisión, en estos organismos, los genes específicos y las secuencias de ADN. Si se desea, los marcadores de genes y ADN extraño se pueden eliminar. Estos cambios específicos son superiores a las estrategias que fueron usadas anteriormente para lograr mutaciones del ADN por medio de intentos aleatorios para lograr organismos más eficientes. En contraste, la biotecnología del ADNr ha proporcionado las herramientas y la información para llevar a cabo cambios genéticos más específicos, asegurando la inocuidad.

En particular, las bacteriocinas son péptidos antimicrobianos sintetizados ribosómicamente por bacterias. La nisina es notable entre éstas, pues presenta un amplio espectro contra patógenos Gram positivos y está clasificada como un producto GRAS (generally recognize as safe). Gracias a la genética se ha logrado comprender la regulación de la biosíntesis de nisina en *Lactococcus* permitiéndose producir en exceso, aproximándose al 50% de la proteína celular. El incremento en la disponibilidad de la nisina ha llevado a expandir las aplicaciones de este conservador en los alimentos. ⁽⁵⁾

V. Riesgos asociados a la producción y consumo de alimentos modificados genéticamente y la evaluación de su inocuidad.

Hasta la fecha se han cultivado más de 30 millones de hectáreas de cultivos transgénicos y no se ha identificado un solo problema de salud humana relacionado específicamente con la ingestión de cultivos transgénicos o sus productos. ⁽⁶⁸⁾ Sin embargo, se han planteado muchas preocupaciones con el surgimiento de la tecnología de modificación genética. Los principales temores se dirigen hacia la inocuidad de los alimentos, la presencia de proteínas con potencial alergénico, posibles efectos tóxicos, así como su impacto en el medio ambiente.

5.1 Riesgos para la salud humana

5.1.1 Capacidad de conferir resistencia a antibióticos

Una de las técnicas utilizadas en la ingeniería genética es el empleo de genes marcadores resistentes a antibióticos para poder rastrear el gen de interés. Esto se hace introduciendo un marcador seleccionable, el cual solamente permite el crecimiento de las células que contienen el ADN que se ha introducido. El objetivo que buscan los investigadores al emplear estos genes es identificar las células que han integrado el ADN introducido de una gran población de células no transgénicas.

La presencia de genes resistentes a antibióticos clínicamente importantes en plantas transgénicas, ha generado preocupación pública y una amplia controversia. Se teme que estos genes puedan ser transferidos a microorganismos presentes en el tracto digestivo del ser humano, confiriéndoles

resistencia. Este riesgo aumenta cuando se trata de antibióticos que constituyen el único medicamento disponible para tratar alguna enfermedad.⁽⁶⁹⁾ Sin embargo, los científicos en general, creen que este riesgo prácticamente no existe debido a que:

- 1) Los elementos de control que permiten la expresión del gen son muy diferentes en las plantas que en los microorganismos y el gen marcador ha sido alterado para que se manifieste en las células del vegetal involucrado. No se puede esperar que un gen modificado para trabajar óptimamente en células de plantas lo haga eficazmente en bacterias. No es un gen funcional si carece de los promotores necesarios para funcionar en otra especie.⁽⁵⁾
- 2) Los genes con resistencia a antibióticos son estables cuando se integran al ADN de la planta y éste al ser expuesto al medio ambiente gastrointestinal se hidroliza rápidamente en pequeños fragmentos no funcionales, mucho antes de que se entre en contacto con la microflora.⁽⁵⁾
- 3) La toma de ADN dentro de la bacteria es un proceso extremadamente ineficiente, el cual requiere capacidad de transformación o mecanismos de transferencia específicos empleados entre las bacterias. No hay mecanismos conocidos para la transferencia de ADN de plantas a bacterias y las bacterias en el sistema digestivo no son capaces de captar el ADN libre.⁽⁵⁾
- 4) Aún si tales mecanismos para captar el ADN estuvieran presentes, la integración estable de ese ADN dentro de la bacteria requiere una extensa secuencia homóloga entre el ADN que está por llegar y el cromosoma

huésped. Tal homología no existe, a no ser que la bacteria ya posea el gen de la resistencia al antibiótico, antes de captar el ADN. ⁽⁵⁾

- 5) Aun cuando esa transferencia tan poco probable ocurriera, la persona tendría que estar tomando el antibiótico para el cual fue codificada la resistencia en el momento de la transferencia. ⁽⁵⁾

En la transformación de plantas, un gen para resistir al antibiótico kanamicina dominó en los primeros cultivos derivados de la biotecnología del ADN. ⁽⁵⁾ La FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos) después de haber realizado extensos estudios, observó que el gen marcador usado para conferir resistencia a este antibiótico se degrada rápidamente al igual que otras proteínas cuando se encuentra en condiciones que simulan la digestión de los mamíferos. De este modo permitió el uso de genes resistentes a kanamicina en el desarrollo de productos alimenticios para humanos y animales derivados de la biotecnología del ADN, concluyendo que la digestibilidad del ADN proveniente del gen marcador no presenta inquietudes referentes a la inocuidad alimentaria y tampoco se considera tóxico ni alergénico. ⁽⁷⁰⁾

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación) y la WHO (Organización Mundial de la Salud) en una conferencia conjunta sobre la seguridad de los alimentos modificados genéticamente abordaron el tema de la preocupación sobre la posible transferencia de genes con resistencia a antibióticos. ⁽⁷²⁾ Se consideró en este encuentro que la transferencia horizontal de genes, de las plantas y productos vegetales consumidos como alimentos hacia los microorganismos presentes en el intestino o células humanas, es una posibilidad

poco común, pero que no se puede descartar completamente. Así mismo se resaltó que los genes que confieren resistencia a los fármacos que tienen uso medicinal específico o como terapias alternativas limitadas, no deben usarse en alimentos derivados de la biotecnología del ADN ampliamente diseminados. Finalmente se concluyó que no hay evidencia de que los marcadores actualmente usados presenten un riesgo para la salud humana o de animales domésticos, ⁽⁷²⁾ además hasta la fecha, no hay informes de que los genes marcadores se transfieran a células bacterianas o de mamíferos. ^(5,71,72,69)

Por otro lado, en este momento ya es posible evitar el uso de genes de resistencia a antibióticos eliminando estos genes una vez que han servido para realizar la selección con cuyo objeto fueron incorporados o también se emplean otros que no están relacionados con los antibióticos. ⁽⁶⁹⁾

5.1.2 Alimentos con sustancias tóxicas y alergénicas

Se ha estimado que cerca del 1 al 2% de la humanidad sufre de algún tipo de alergia. Alimentos como leche, huevos, pescado, mariscos, cacahuete, soya, nueces y trigo son responsables de cerca del 90% de las alergias generadas tras su consumo. Éstas implican respuestas inmunológicas anormales a sustancias que por lo general son proteínas que se encuentran naturalmente en los alimentos. En la mayoría de los casos, los síntomas de las alergias se limitan a sensaciones de hormigueo en boca y labios o diarrea. Pero cuando el individuo es demasiado sensible a alguna proteína los resultados de su consumo pueden manifestarse en reacciones de shock anafiláctico, lo cual produce contracción

muscular y constricción de las vías respiratorias, ocasionando dificultad respiratoria y síntomas gastrointestinales, como son dolor abdominal, calambres, vómito y diarrea, lo que puede llevar hasta la muerte. ⁽⁵⁾

Ya que la modificación genética implica la introducción de nuevos genes dentro de la planta receptora y como estos genes van a producir nuevas proteínas en la variedad mejorada, el potencial alergénico de los alimentos desarrollados a través de la tecnología del ADNr es una fuente de preocupación.

A pesar de las inquietudes, no se ha manifestado ninguna reacción alérgica original ante cualquiera de los alimentos derivados de la biotecnología del ADNr. ⁽⁶⁹⁾ Evidentemente, un consumidor que presenta alergia a la soya por ejemplo, probablemente también presente alguna reacción alérgica a la soya derivada de la tecnología del ADNr. Pero ningún alérgeno nuevo u original ha sido introducido dentro de los alimentos a través de la biotecnología del ADNr.

Hay que hacer notar que la ingeniería genética también ofrece la oportunidad para reducir o eliminar los alérgenos que se encuentran naturalmente en ciertos alimentos y nunca hasta ahora en la historia de la tecnología alimentaria se había controlado tanto a un alimento. Se conocen mejor las modificaciones genéticas de los alimentos transgénicos que las de otros que son consumidos diariamente y desde hace varios años y cuyas variaciones genéticas se han producido de forma natural o por hibridación y esto hace que las pruebas de toxicidad de las plantas transgénicas sean más fáciles que las de las plantas con nuevos caracteres

producidas con los métodos ordinarios, pues resulta mucho más claro saber cuáles son las nuevas características de la planta modificada. ⁽⁷³⁾

Si los genes son obtenidos de fuentes alergénicas conocidas, la posibilidad de transferir un alérgeno conocido tiene que ser cuidadosamente examinada. Los riesgos potenciales referentes a la alergenicidad se pueden ilustrar apropiadamente con un caso en donde se quiso crear una variedad de soya con alto contenido de metionina, mediante la inserción de un gen derivado de la nuez de Brasil que codifica para la producción de una proteína rica en este aminoácido. La nuez de Brasil es conocida como alergénica pero, en el momento de este desarrollo, sus alérgenos aún no se habían identificado. Al evaluarse el efecto alérgico que esta nueva variedad podría presentar, se encontró que al igual que la nuez, la soya modificada genéticamente producía una fuerte reacción alérgica. Como resultado, cesó el desarrollo comercial de esa variedad particular de soya, a pesar de la enorme inversión que se había realizado para su desarrollo. A raíz de este caso tan mencionado, se condujo a la generación de procedimientos para evaluar la potencial alergenicidad de los organismos modificados genéticamente. ⁽⁶⁹⁾

Aunque existen algunos estudios que indican una posible toxicidad en algunos organismos modificados genéticamente para consumo humano, éstos han sido probados sin claros fundamentos. Tal es el caso de la producción del L-triptófano para emplearse como suplemento alimenticio en humanos y que se produjo por fermentación a partir de una bacteria transgénica en Estados Unidos.

El L-triptófano es un aminoácido esencial normalmente ingerido como componente de las proteínas de la dieta. Los preparados manufacturados se han utilizados durante muchos años por una variedad de razones, como suplemento nutritivo o para trastornos como el insomnio, la ansiedad, la depresión y el síndrome premenstrual. A pesar de su uso frecuente por razones terapéuticas, el L-triptófano estaba clasificado como un suplemento alimenticio y, como tal, no estaba regulado por la FDA. ^(71,74) La producción de este aminoácido va acompañada por una cantidad de sustancias secundarias (impurezas) que se extraen a través de un tratamiento con carbón activado y ósmosis inversa. A fines de 1988 una empresa japonesa hizo varios cambios simultáneos en la producción del aminoácido, incluyendo el uso de un organismo genéticamente modificado, *Bacillus amyloliquefaciens*, para incrementar la producción del L-triptófano. El proceso de purificación también fue modificado, se eliminó la ósmosis inversa y se redujo la cantidad de carbón activado. Como resultado, 1.500 personas fueron afectadas y 37 murieron en los EUA debido al síndrome de mialgia-eosinofilia (EMS)* provocado a raíz del consumo de este aminoácido.

*EMS: Enfermedad donde la mialgia y la eosinofilia son las características más consistentes. Mialgia: significa dolor en los músculos. Eosinofilia: significa un incremento de las células eosinofílicas; un tipo de glóbulo blanco de la sangre. Los síntomas son dermatitis, asma y alergias nasales.

Los científicos identificaron dos compuestos potencialmente asociados con el EMS, los cuales fueron encontrados en el mismo preparado del aminoácido producido por otras compañías y que fueron vendidos como tratamiento para el insomnio. Por lo tanto es inapropiado concluir que los casos de EMS estuvieron relacionados únicamente al consumo del aminoácido producido por la bacteria modificada genéticamente.⁽⁷⁴⁾ La intoxicación con este L-triptófano ha sido incorrectamente atribuida al organismo derivado de la biotecnología del ADN, pues se debió a los cambios en el proceso de purificación y no a la introducción del organismo transgénico.^(5,71,75)

Después de una extensa investigación, la FDA no encontró alguna evidencia que sugiriera que la presencia de la sustancia relacionada con el desarrollo de la enfermedad fuera una consecuencia directa del proceso de modificación genética.^(71,75)

Otro caso muy conocido corresponde a los estudios del investigador A. Pusztai, quien alimentó a un grupo de ratones con papas transgénicas y descubrió que sufrieron daños severos en el sistema inmunológico y un mayor crecimiento del hígado, del estómago (en 27 por ciento), del páncreas (en 40 por ciento) y del colon, entre otros. También encontró que estos roedores sufrieron daños en el cerebro y en otros órganos vitales.

The Royal Society, una academia independiente destinada a la promoción y divulgación de las ciencias naturales y aplicadas de Gran Bretaña y que además goza de amplio prestigio internacional dentro de la comunidad científica, concluyó

que existen numerosas limitaciones de diseño experimental que invalidan las conclusiones genéricas de Pusztai respecto al efecto de las papas modificadas genéticamente. Aunque parte de sus estudios fueron publicados en una de las más prestigiosas revistas científicas, las conclusiones de toxicidad han sido consideradas como infundamentadas. ^(71,75)

Recientemente una comisión de la Unión Europea para el estudio de la seguridad de los OMG concluyó que la investigación en plantas transgénicas o sus productos comercializados a la fecha no han mostrado algún riesgo para la salud humana mayores a aquellos presentados por aquellos obtenidos por mejoramiento genético convencional. ⁽⁷¹⁾

5.2 Riesgos para el medio ambiente

Desde 1987, se han realizado más de 25,000 pruebas de campo de plantas manipuladas genéticamente en 45 países sin observarse consecuencias adversas al medio ambiente y se ha calculado que en 1999, 200 millones de acres de tierra fueron plantados a nivel mundial con cultivos transgénicos sin consecuencias ambientales adversas. ⁽⁶⁸⁾ Sin embargo, existen preocupaciones sobre el posible daño al medio ambiente que este tipo de cultivos pudiera causar.

Casi todas las preocupaciones ambientales relacionadas con la tecnología de modificación genética de las plantas se deben a la posibilidad de un flujo genético hacia los parientes cercanos de la planta transgénica, a los posibles efectos indeseables de los genes y al posible efecto en otros organismos.

La agricultura moderna causa graves daños al medio ambiente, pues la aplicación generalizada de herbicidas, plaguicidas, fertilizantes y labores de labranza, ha dado por resultado graves daños ambientales en muchas partes del mundo. Por lo tanto, será necesario evaluar los riesgos ambientales de las nuevas tecnologías de modificación genética comparándolos con los riesgos de seguir utilizando tecnologías convencionales para conocer qué técnica favorece más a la conservación del medio ambiente. ⁽⁶⁸⁾

5.2.1 Flujo de genes y creación de nuevas malezas resistentes a herbicidas

Se ha manifestado inquietud por la liberalización al ambiente de plantas tolerantes a herbicidas de amplio espectro, pues existe el temor de que los genes introducidos para crear dicha resistencia se transfieran a plantas silvestres por medio del viento o insectos, con la posibilidad de que se generen malezas resistentes al control químico resultando en un mayor uso de los mismos. Esto no tiene por qué ocurrir, ya que estas plantas están previstas para que el agricultor pueda eliminar malas hierbas empleando menos herbicida. De hecho, este sistema está permitiendo un tipo de labranza que lleva a conservar más la vegetación y el suelo, con lo que se produce menos erosión. Además existen evidencias de que los cultivos tolerantes a herbicidas proporcionan enormes beneficios tanto al agricultor como a la ecología. ^(38,39,48,41,55,56,57)

Varios estudios indican que los métodos tradicionales de aplicación de herbicidas de amplio espectro con el tiempo llegan a provocar que las plantas desarrollen resistencia a éstos y estas variedades a través del flujo de genes pueden

transmitir esta característica de resistencia a otras especies relacionadas, ya que se ha demostrado que el flujo de genes es un hecho natural. Por lo tanto, el problema no se puede otorgar únicamente a las plantas transgénicas. ⁽⁶³⁾ Mucho se ha hablado sobre los riesgos ecológicos potenciales de las plantas transgénicas, pero frecuentemente se olvida que las plantas de cultivos tradicionales no carecen de estos problemas. ⁽⁷⁶⁾ Algunos de los problemas ecológicos y evolutivos que plantean las plantas procedentes de mejora genética convencional, especialmente los derivados de la hibridación de éstas con sus parientes silvestres es que el flujo de genes puede conducir a la pérdida de identidad genética de las poblaciones silvestres, a su extinción, o bien a la conversión en malas hierbas. ⁽⁷⁶⁾

Existe la evidencia de que este flujo genético entre plantas domesticadas y silvestres se ha producido y se sigue produciendo, a veces con consecuencias negativas para la biodiversidad natural. Algunos cultivos tienen cierta facilidad para cruzarse con parientes silvestres, tal es el caso del trigo, arroz, maíz, soya, cebada, algodón, sorgo y caña de azúcar entre otros. ⁽⁷⁶⁾

De estas evidencias se deduce que igualmente se pueden esperar hibridaciones entre cultivos transgénicos y sus parientes silvestres en lugares donde coexistan, sin embargo, el hecho de que exista flujo genético no significa que todas las potenciales hibridaciones sean intrínsecamente peligrosas. Se necesita emprender nuevos estudios que determinen la tasa de introducción de transgenes en hierbas silvestres con potencial invasivo, ya que esto influirá en la persistencia del gen,

como en la disseminación de los transgenes en la naturaleza.⁽⁷⁷⁾ Si se pueden reproducir los híbridos y si las variedades silvestres están bajo un flujo constante de genes provenientes del cultivo, sea transgénico o no, el transgen persistirá.

El hecho de que se pueda producir este tipo de fenómeno no significa que sin duda se vaya a producir. Como ya se mencionó, se pueden reunir datos de estudios experimentales para evaluar las probabilidades y la importancia de los riesgos del flujo de genes. ⁽⁷⁸⁾ Además la magnitud de la transferencia genética entre plantas cultivadas transgénicas o convencionales, depende de varios factores. ⁽⁷⁸⁾ Debe existir compatibilidad sexual entre la planta cultivada y los parientes silvestres, se requiere que ambas plantas estén en flor al mismo tiempo y que estén suficientemente cercanas para permitir la acción del vector que transporta el polen. Los híbridos resultantes deben ser fértiles y se debe conferir alguna ventaja selectiva a los híbridos. Obviamente si no hay hibridación no se puede producir el flujo de genes. ⁽⁷⁸⁾ Algunos cultivos pueden cruzarse con plantas emparentadas en mayor o menor medida, todo depende del tipo de reproducción de la planta y de la existencia o no de variedades silvestres emparentadas.

La cuestión clave no es si se da la transferencia de genes, sino si el producto resultante presenta algún peligro para el medio ambiente. Ya que no es posible prever todas las consecuencias que una tecnología pueda ocasionar, la elaboración de un conjunto de normas reguladoras con fundamentos científicos puede ayudar a detener la liberación de productos transgénicos que

probablemente desarrollarán problemas y al mismo tiempo se puede permitir la liberación oportuna de otros. ⁽⁷⁸⁾

5.2.2 Pérdida de la biodiversidad por transferencia de genes

Se teme sobre la posibilidad de que debido a la transferencia de genes por parte de los cultivos modificados genéticamente se permita la "contaminación" de especies relacionadas que se quieren conservar puras. Existe la preocupación sobre la posible sustitución de variedades locales que poseen características valiosas de adaptación al ambiente y que como consecuencia se llegue a la pérdida de variabilidad genética a causa de la extensión de los cultivos transgénicos. Pero tampoco ésta es una posibilidad exclusiva de las plantas transgénicas. A criterio de muchos especialistas, la pérdida de variabilidad genética no es responsabilidad de las plantas transgénicas ni de la tecnología que se empleó en su desarrollo. La pérdida más bien se debe a la extensión del cultivo a una alta escala comercial que reduce o elimina las posibilidades de las variedades locales y esto ocurre con la introducción de cualquier nueva variedad ya sea desarrollada por medio de la biotecnología o por técnicas convencionales.⁽⁶³⁾ De hecho, varias especies silvestres de algodón y arroz ya han desaparecido como consecuencia de la hibridación natural. ⁽⁷⁸⁾

Un centro de diversidad biológica es la región geográfica en la cual se encuentra la mayor variabilidad de una especie dada y por lo tanto es una fuente de material genético que se puede emplear para mejorar la producción agrícola al aportar

variedades superiores de cultivos, ya sea mediante el mejoramiento convencional o por ingeniería genética. ⁽⁷⁹⁾

Por ser México el país de origen del maíz y centro de gran biodiversidad de parientes silvestres de este cultivo, últimamente se ha presentado una intensa polémica por un lado, sobre la conveniencia de cultivar o no variedades modificadas genéticamente y por otro, sobre la existente contaminación de razas criollas de maíz de los estados mexicanos de Oaxaca y Puebla con ADN proveniente de maíz transgénico y las consecuencias que esto puede traer a la biodiversidad.

El asunto es muy controvertido, pues hay gente que cree que la introducción de un transgen en las razas criollas degradaría la diversidad genética del maíz. Mientras tanto, otros piensan que no afectaría en absoluto la diversidad y que por el contrario, podría enriquecerla.

Los expertos concuerdan en que el polen del maíz, ya sea de una variedad transgénica o de una planta híbrida común, puede cruzarse con el teocintle, (planta de la cual se deriva el maíz moderno) añadiéndole así material genético del maíz.⁽⁸⁰⁾ El paso de los años ha indicado que la polinización normal entre el maíz moderno y variedades locales antiguas, incluso con el teocintle, no constituye una amenaza significativa a la biodiversidad. ⁽⁸¹⁾

Las variedades modernas del maíz han estado disponibles a los agricultores mexicanos por medio siglo y hay evidencia de que se han dado algunos casos de polinización cruzada desde entonces. Efectivamente, los genes modernos pueden permanecer en las poblaciones, pero éstos no superan ni desplazan a los genes ancestrales originales. La fijación de un (trans) gene en una población de teocintle sería imposible si no confiere una ventaja evolutiva a las especies. El gen Bt por ejemplo, probablemente no daría una ventaja evolutiva al teocintle porque las plagas no son un factor de selección natural en el medio silvestre. Los transgenes serían perdidos como todos los miles que nunca confirieron ventajas adaptativas a las plantas receptoras. ⁽⁸²⁾ No hay indicios de que la biodiversidad del teocintle haya sufrido a causa de la introducción de los genes modernos del maíz en la segunda mitad del siglo veinte. Además, el maíz transgénico no se cruza con mayor eficacia que el maíz moderno que no ha sido mejorado con biotecnología.

(83)

La cuestión de importancia fundamental es si se ve amenazada la supervivencia de poblaciones del teocintle por material genético del maíz moderno o transgénico. Para algunos, la polinización cruzada es contaminación genética, y el maíz causante del problema se debe prohibir porque, según su juicio, los genes del maíz disminuyen la pureza genética y, por lo tanto, la biodiversidad del teocintle. Para otros, el traslado de genes de especie a especie como en el caso del maíz y el teocintle, es completamente natural, no constituye una amenaza a la biodiversidad y es un fenómeno del cual no se tiene que preocupar. "Parece paradójico argumentar que es necesario proteger el respaldo genético del maíz

cuando durante 6000 años de creación tradicional de razas se ha protegido sólo los alelos importantes para el ser humano". (Martínez Soriano 2000) ⁽⁸²⁾

La verdadera amenaza que enfrentan las variedades nativas de maíz proviene de la creciente demanda de más tierra y alimentos. Al crecer las ciudades se invaden las tierras de labranza. Los agricultores al tratar de responder a la demanda de más alimentos sustituyen las variedades anteriores y menos productivas por variedades híbridas nuevas de alto rendimiento y ambas actividades desplazan a las plantas tradicionales.⁽⁸⁴⁾ Además existen regiones en el país donde el teocintle es considerado como maleza y lo que se quiere es exterminarlo. ⁽⁸⁵⁾ Si la sociedad desea preservar el teocintle y variedades locales antiguas, se deben apoyar los bancos de genes y apartar tierras donde el patrimonio genético pueda ser protegido.

Sin duda, la biodiversidad en México y en otras partes del mundo se ha visto amenazada mucho antes de la introducción de la ingeniería genética a la agricultura. Se debe tener claro que pretender la conservación de los recursos genéticos a partir de la prohibición de los cultivos modificados genéticamente es incongruente, pues son muchos los factores que influyen sobre la pérdida de la biodiversidad genética y los cultivos transgénicos no son la principal amenaza. ⁽⁸⁶⁾

Con respecto a la aparición de maíz transgénico en tierras mexicanas, los investigadores David Quist e Ignacio Chapela realizaron un estudio donde descubrieron en razas criollas de maíz mexicano un promotor utilizado en la elaboración del maíz transgénico (promotor 35S del virus del mosaico de la

coliflor). Los autores de la investigación concluyeron que variedades locales de maíz en México han sido contaminadas con ADN de maíz transgénico.⁽⁸⁷⁾ Se intuye que la contaminación podría haber sido a través de la siembra del grano importado de Estados Unidos, país que se ha rehusado a separar el maíz transgénico del convencional.

Chapela a su vez, ha citado que el maíz del banco de genes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en las afueras de la ciudad de México ya está contaminado con material transgénico. El CIMMYT sin embargo, ha hecho sus propias investigaciones e insiste en que no han encontrado contaminación ni en sus extensos bancos de semillas ni en muestras recolectadas de los campos de México.⁽⁸⁸⁾

Por su parte, estudios de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) han confirmado la presencia de maíz transgénico en los cultivos de maíz tradicional en la sierra de Oaxaca y en Puebla.⁽⁸⁹⁾ Igualmente, a petición del INE-SEMARNAP, el Instituto de Ecología de la UNAM en colaboración con el CINVESTAV (Centro de Investigaciones y estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México) realizaron una serie de estudios donde corroboraron que los hallazgos de Chapela y Quist son correctos.⁽⁹²⁾

Desde que se publicó el trabajo de Quist y Chapela, varios científicos reconocidos han cuestionado seriamente las metodologías aplicadas, así como resultados y conclusiones. Investigadores del CIMMYT advierten que se utilizaron técnicas

propensas a altas tasas de error y argumentan que la técnica de PCR inversa (i-PCR) empleada es propensa a dar falsos positivos. ⁽⁹⁰⁾

De hecho, la revista científica en la cual fue publicada la investigación de Chapela y Quist, rechazó el artículo hace poco, concordando con expertos científicos que los resultados de la investigación contenían errores y que el artículo no debió haber sido publicado. Recientemente la revista declaró que sólo se limita a publicar las críticas y permitir que los lectores juzguen la ciencia por ellos mismos. ⁽⁹¹⁾

Hasta la fecha, la información obtenida para evaluar el impacto del maíz transgénico en la biodiversidad de México es extremadamente limitada o inexistente, debido a la falta de apoyo económico, a la carencia de un seguimiento permanente del problema y al muy limitado interés gubernamental. Por lo mismo, no existe la evidencia necesaria que permita cuantificar la presencia de rasgos transgénicos en maíces nativos de México y resulta importante establecer métodos confiables de monitoreo. No existe la evidencia científica necesaria para evaluar el impacto de un rasgo transgénico específico sobre la diversidad genética del maíz mexicano y sus parientes cercanos, por lo que es importante establecer programas de investigación al respecto. ⁽⁹²⁾

Tampoco se han tomado las medidas necesarias para evitar la introducción de maíz transgénico o detenerla como podría ser el establecer mecanismos de vigilancia y detección en todos los cruces fronterizos, así como la exigencia de la

certificación de todas las semillas de uso comercial como no transgénicas antes de su introducción al país.

No existe una clara posición del gobierno mexicano frente a este problema. Se tiene una enorme preocupación sobre la pérdida de variedades criollas de maíz a causa de la introducción de maíz transgénico y se ha mantenido la prohibición de sembrar maíz genéticamente modificado desde 1998, sin embargo, México sigue importando maíz convencional de Estados Unidos mezclado con las variedades transgénicas.

Con respecto a la conveniencia de cultivar o no variedades de maíz modificadas genéticamente, todavía no se tiene una respuesta concreta. Hay dos tipos de maíces transgénicos que actualmente se podrían producir en México. El primero es una variedad resistente a insectos, pero desgraciadamente esta resistencia se ha probado con insectos que atacan el maíz cultivado en Estados Unidos y no se tienen pruebas de que esa resistencia sirva para proteger el maíz de los insectos que lo hacen en México. La otra variedad disponible contiene un gen que le proporciona resistencia a herbicidas.⁽⁷⁹⁾ De nuevo esta ventaja no se ha demostrado en condiciones experimentales en nuestro país y por lo tanto no se tiene un criterio para determinar cuáles serían los beneficios.

El uso de maíces modificados genéticamente puede tener un impacto positivo en la producción agrícola. Pero es importante que esta tecnología sea dirigida a solucionar problemas específicos de la agricultura de cada país. En un país de

gran diversidad de parientes silvestres de maíz en el que los beneficios agronómicos de adoptar cultivos transgénicos no están definidos ni han sido estudiados no debería de sembrarse este tipo de maíz hasta haber evaluado los efectos adversos ambientales y para la salud y garantizar un claro beneficio. Con esto no quiero decir que se deba rechazar definitivamente la biotecnología, sino que antes de adoptar algún cultivo modificado genéticamente, es necesario evaluar los riesgos y beneficios para colocarlos en una balanza y así poder tomar decisiones útiles para el país. Así mismo, es importante promover un debate abierto y transparente entre el gobierno, organizaciones de agricultura, organizaciones de la industria agroalimentaria y sociedades científicas, sobre los beneficios y riesgos de las variedades de maíz transgénico y hacer una evaluación del costo que representa para México el no adoptar los cultivos de maíz transgénico. ⁽⁹³⁾

5.2.3 Efectos de la toxina Bt

De acuerdo con especialistas que cuestionan el desarrollo de plantas transgénicas, las plantas con resistencia a insectos podrían provocar la muerte de insectos benéficos por efecto de las toxinas producidas en las plantas Bt.

Dos estudios recientes, de cierta repercusión pública Losey et al. (1999) y Hansen y Obrycky (2000), indicaron que el polen de las plantas Bt era tóxico para las larvas de la mariposa Monarca, las cuales fueron alimentadas en el laboratorio con hojas de algodoncillo (*Asclepiadea*); su alimento natural, mezcladas con polen de maíz transgénico. Se detectó que las larvas sufrieron graves anomalías de crecimiento y elevada mortalidad.

Sin embargo, estos estudios han sido criticados por otros científicos por el hecho de haber cometido varios errores metodológicos y debido a que las condiciones de laboratorio eran muy forzadas y totalmente distintas de las condiciones de campo, por lo que se hace difícil extrapolar sus conclusiones a las condiciones naturales. ⁽⁷⁵⁾

Hay que aclarar también que en estos estudios se empleó una cepa de la bacteria *B. thuringiensis*. que es mucho más tóxica que las que se emplean en la producción de los cultivos de maíz transgénicos y de hecho no fue evaluada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). ⁽⁹⁶⁾

En un informe realizado por esta Agencia, sobre los posibles impactos de las plantas transgénicas Bt en la mariposa Monarca, ⁽⁹⁶⁾ se hicieron dos afirmaciones de gran importancia. La primera es que varios estudios de campo no han podido detectar polen de maíz Bt aprobado comercialmente a niveles tóxicos para las mariposas Monarca. Y la segunda dice que hay muy poca yuxtaposición entre la zona de alimentación de la mariposa y la de dispersión de polen. Dado que no se detectan niveles tóxicos en las plantas de algodoncillo de las que se alimentan las mariposas Monarca, y que la exposición de las larvas al polen es muy limitada, se puede decir que existe poco riesgo para las poblaciones de la mariposa. La Agencia concluye que la información preliminar publicada sobre toxicidad para la Monarca no es suficiente para causar preocupación sobre riesgos para las mariposas en este momento.

Por otro lado, los estudios han revelado que los algodoncillos retienen sólo un 30% del polen que cae a las hojas y que de ese polen el 90% se elimina por la lluvia y el viento, limitando así la exposición para las larvas. Además, el polen permanece viable durante unas pocas horas tras su emisión desde la planta, si a ello sumamos el hecho de que las proteínas Bt se rompen al exponerse a los rayos ultravioleta de la luz solar y al calor y se puede sugerir que cualquier actividad insecticida del polen Bt debería degradarse rápidamente. ⁽⁹⁷⁾

Cuando se aprobaron los cultivos Bt en 1995 y 1996, la EPA exigió a los aspirantes que proporcionaran información sobre los efectos en organismos no-objetivo y especies benéficas, por ejemplo: mariposas Monarca, crisopas, abeja melífera y avispas parásitas y se notó poco efecto. La EPA consideró el efecto de los cultivos Bt sobre los organismos no-objetivo, incluyendo insectos tales como las mariposas Monarca, y concluyó que no tenía mayor efecto sobre ellos que con el uso de insecticidas. ⁽⁵⁾ Además debido a que *B. thuringiensis* se usa extensamente en pesticidas orgánicos y que es un organismo común del suelo, la exposición de otros organismos del suelo a su toxina no es novedad. ⁽⁵⁾

Después de estar algunos años en contra del maíz Bt, nuevas publicaciones de estudios científicos confirman que el polen de las distintas variedades transgénicas de ese cultivo presentan un mínimo riesgo para las mariposas Monarca en condiciones de campo. ^(99,100,101,102,103)

El riesgo ecológico en estos estudios se determinó al estimar qué tan tóxico es el polen del maíz Bt, en qué condiciones y cantidades. El conjunto de investigaciones

recientemente publicadas por expertos proporcionan evidencias vastas que reafirman las conclusiones a las que llegó el "análisis de riesgo" original realizado por la EPA cuando avaló la producción masiva de las variedades de maíz Bt en suelo norteamericano hace varios años. ⁽¹⁰⁴⁾

Finalmente se considera que se ha dado una atención desmedida a la controversia relacionada con el maíz transgénico y su supuesta toxicidad hacia la mariposa Monarca y se está opacando otro quizá más grave que es la protección y preservación de su hábitat. El riesgo que presenta el maíz transgénico puede ser menor que el que actualmente encara la mariposa por los daños medioambientales que se originan como consecuencia de la tala inmoderada de árboles y algunos efectos colaterales del turismo ⁽¹⁰⁵⁾

Otro problema que se puede presentar es que algunos insectos puedan crear resistencia a las toxinas Bt. Los especialistas que defienden la producción de alimentos transgénicos, argumentan que la resistencia que pudieran desarrollar ciertos insectos no es un problema nuevo. Se considera que esta es una condición relacionada con factores evolutivos que ha tenido que ser tomada en cuenta en el pasado con el manejo convencional de los cultivos. ⁽⁶³⁾

A la fecha no se ha reportado resistencia de los insectos a las plantas Bt, sin embargo, muchos miembros de grupos de presión ambiental creen que la exposición continua de parásitos a las plantas Bt conducirá inevitablemente a la selección de resistencia y que la introducción a gran escala de cultivos de Bt pone en peligro la durabilidad de la toxina Bt como un insecticida. ⁽⁹⁸⁾ El surgimiento de

mutantes resistentes a la toxina Bt es probable. Sin embargo no hay que olvidar que las toxinas de tipo Bt pertenecen a una familia con más de 130 miembros y que aun cuando surgieran insectos resistentes se podrían emplear nuevas toxinas bacterianas sin reacción cruzada. ⁽⁷⁷⁾

En un esfuerzo por demorar el desarrollo de resistencia a la toxina Bt, se ha adoptado el uso de refugios que son áreas de plantas no transgénicas plantadas cerca de las variedades transgénicas. En teoría, los refugios de cultivos sin la toxina Bt proporciona a los insectos sensibles a la toxina el apareamiento para reducir la probabilidad de crías resistentes. Se tiene esperanza de que esta estrategia funcione ya que la resistencia normalmente es un rasgo genéticamente recesivo. ⁽⁹⁸⁾ La reciente sugerencia de la EPA, es que los agricultores cultiven 20%, exigido de maíz no Bt para áreas de refugio alrededor del perímetro de los campos. ⁽⁵⁾

Un estudio reciente ha demostrado que el concepto de un refugio funciona en el campo. Se están empleando refugios con plantas no derivadas de la biotecnología del ADN_r para reducir la presión de selección sobre los insectos objetivo demorando así la acumulación de formas resistentes, pero es demasiado pronto para saber qué tan efectiva será esta estrategia. ⁽⁵⁾

5.3 Evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de la tecnología del ADNr para consumo humano

Los productores de alimentos están obligados por ley a asegurar la inocuidad y la calidad de sus productos, sin considerar cuál es el origen o la identidad de los ingredientes. Los nuevos alimentos producidos a través de cruzamientos convencionales o introducidos al mercado procedentes de otras partes del mundo, no necesitan someterse a ningún tipo de evaluación de inocuidad. Se supone que son inocuos porque son comparables a otras variedades o porque se consumen sin riesgo en otras partes del mundo.⁽⁵⁾ Actualmente, las evaluaciones de seguridad de los alimentos genéticamente modificados incluyen muchas clases de análisis y se está de acuerdo en que las propiedades de estos alimentos deben ser el centro de evaluación del riesgo y no el proceso por el que se produjeron. ⁽⁵⁸⁾

5.3.1 Concepto de equivalencia substancial

La evaluación inicial de la inocuidad de los alimentos derivados de la biotecnología del ADNr aborda los problemas potenciales, tanto a corto como a largo plazo. La cuestión de la inocuidad alimentaria humana, a largo plazo, fue un tema que se trató en la conferencia titulada "Biotecnología y Seguridad Alimentaria" expuesta conjuntamente por la FAO y la OMS durante el año 2000. ⁽⁵⁾ En ella se concluyó que la posibilidad de tener efectos a largo plazo, atribuidos específicamente a los alimentos modificados genéticamente, es muy poco probable. Así mismo, se hizo notar que lo que se sabe acerca del potencial de los efectos a largo plazo de cualquier alimento es muy poco y en muchos casos esto se complica debido a la

amplia variabilidad genética que se encuentra en la población, pues hay individuos que pueden tener mayor predisposición a los efectos relacionados con el alimento.

La conferencia reconoció que para los alimentos genéticamente modificados, la investigación de inocuidad que se lleva a cabo antes de la comercialización del producto, ya brinda una garantía de que el alimento es tan inocuo como su equivalente convencional. ⁽⁵⁾

Así como los productos derivados de la tecnología del ADN_r se evalúan respecto a su inocuidad antes de su introducción dentro del mercado, también los productos que contienen ingredientes derivados de esta tecnología deben ser evaluados.

Una herramienta de evaluación de seguridad comúnmente usada es el concepto de la equivalencia substancial, el cual es reconocido por la OECD (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y la OMS (Organización Mundial de la Salud), considerando todas estas organizaciones que se trata de una aproximación comparativa, enfocada hacia la determinación de las similitudes y diferencias que existe entre los alimentos modificados genéticamente y su contraparte convencional y que es la estrategia más apropiada para la evaluación nutricional y de inocuidad de los alimentos genéticamente modificados. ⁽⁵⁾

El concepto de equivalencia substancial fue desarrollado para darle un enfoque práctico a la evaluación de la inocuidad de los alimentos genéticamente modificados. Se considera como un paso clave en el proceso de evaluación de inocuidad, aunque, en sí, no es un determinante absoluto de la inocuidad, ya que

los cambios en la composición de los alimentos derivados de la tecnología del ADNr pueden no tener impacto en la inocuidad de los alimentos. Por ejemplo, el aceite de soya con alto contenido de ácido oleico, derivado de la biotecnología del ADNr, tiene una concentración del ácido graso que cae fuera de la cantidad típica que se encuentra en los aceites de soya convencionales. A pesar de eso, este alimento es considerado inocuo, de acuerdo a los conocimientos científicos que se tienen acerca de la inocuidad del ácido oleico, un ácido graso común de los alimentos.

La equivalencia substancial no determina el riesgo, sino que se usa para estructurar y fortalecer el sistema de evaluación de inocuidad del alimento manipulado genéticamente en relación a su contraparte convencional, ya que ésta presenta una historia de inocuidad como alimento. Proporciona un proceso para establecer que la composición de la planta no ha cambiado, de tal manera que pueda introducir algún riesgo nuevo en el alimento, incrementar la concentración de componentes tóxicos intrínsecos, o reducir el contenido usual de nutrientes. Implica una evaluación cuantitativa de la concentración de los componentes inherentes del alimento modificado, que se compara con el amplio límite encontrado por lo general en su contraparte tradicional, bajo condiciones similares de producción de alimentos.⁽⁵⁾ Por otro lado, los productos derivados de organismos modificados genéticamente cuyas diferencias con respecto a su contraparte convencional son mínimas (uno o unos pocos genes que representan a una o dos proteínas más), son considerados tan inocuos como el producto tradicional al que se relacionan estrechamente. ⁽⁹⁸⁾

Si un alimento o componente nuevo se considera sustancialmente equivalente a un alimento o componente existente, puede ser tratado en la misma manera con respecto a sus evaluaciones de seguridad y nutrición. Cualquier diferencia definida como la presencia de una sustancia completamente nueva en el alimento, un alérgeno manifestado bajo circunstancias inesperadas, cambios en la concentración de los principales nutrientes, así como un incremento en la concentración de los factores antinutricionales y toxinas propias del alimento, es objeto de evaluaciones adicionales de seguridad que incluyen pruebas de nutrición, toxicológicas e inmunológicas según sea apropiado. ⁽⁶⁾

Todos los alimentos transgénicos que han obtenido el permiso de comercialización han tenido que pasar durante años una serie de pruebas de laboratorio con la finalidad de demostrar su inocuidad sanitaria. Sin duda, los alimentos transgénicos son los alimentos que han pasado un mayor número de evaluaciones sanitarias, las cuales han sido más estrictas que las de los productos obtenidos por medios convencionales.⁽⁷¹⁾

5.3.2 Evaluación de la inocuidad del material genético introducido y de los productos génicos

Según la política de la FDA, ⁽⁵⁾ las características del material genético introducido y de los productos génicos presentes en los alimentos transgénicos deben ser analizados. Con este proceso se brinda información importante referente a las proteínas codificadas, los elementos reguladores que controlan la expresión, y la presencia o ausencia de posibles secuencias adicionales de codificación dentro del ADN.

El paso inicial en una evaluación de inocuidad es la caracterización completa de la estructura genética que se está insertando. Este paso incluye la identificación de la fuente del material genético, para establecer si se origina de una fuente patógena, productora de toxinas o es una fuente de alérgenos. Los parámetros a medir incluyen el tamaño de la estructura genética que se inserta dentro del genoma de la planta, el número de estructuras insertadas, la localización de la inserción y la identificación de las secuencias genéticas dentro de la estructura, lo cual permite que se detecten (secuencias marcadoras) y su manifestación en la planta (secuencias promotoras).

La FDA, establece que cuando se haya caracterizado completamente la estructura genética introducida, se realice una investigación sobre la inocuidad de los productos génicos; es decir la proteína producida por el gen o genes introducidos, la cual se encuentra presente en los alimentos o ingredientes alimentarios derivados de la biotecnología del ADNr. Esta evaluación incluye la identificación de la composición y estructura del producto génico, una cuantificación de la cantidad de producto génico expresado en la porción comestible del alimento, un estudio de semejanza con toxinas conocidas y factores antinutricionales, alérgenos y otras proteínas funcionales, una determinación de la estabilidad térmica y digestiva del producto génico y los resultados de análisis toxicológicos *in vivo* e *in vitro* para demostrar la falta de aparentes propiedades alérgicas o tóxicas. ⁽⁵⁾

5.3.3 Evaluación de la alergenicidad

La evaluación del potencial alergénico de los alimentos derivados de la tecnología del ADNr sigue el proceso de "árbol de decisiones" diseñado por el Consejo Internacional de Biotecnología de Alimentos (IFBC) y el Instituto de Alergia e Inmunología del Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ILSI).⁽⁵⁾

El primer paso en la evaluación de las propiedades alergénicas consiste en clasificar la fuente del material genético transferido ya sea como alergénico, no alergénico, posiblemente alergénico y sin evidencia de alergenicidad. (Figura 5.1) Si éste se obtiene de una fuente alergénica conocida y la proteína codificada se expresa en la porción comestible del alimento derivado de la tecnología del ADNr, se debe considerar que la proteína es un alérgeno, hasta que se pruebe lo contrario.⁽⁵⁾ Si se encuentra en esta situación, el paso que debe seguir la evaluación de la alergenicidad es la determinación de la inmunoreactividad de la proteína recién introducida, conteniendo anticuerpos tipo IgE, del suero de individuos alérgicos al organismo donante. Mediante análisis inmunológicos se puede analizar la reactividad del suero sanguíneo con proteínas purificadas o con extractos del alimento genéticamente modificado. Si se usa un número suficiente de sueros de prueba, se puede determinar la alergenicidad de la proteína introducida con un alto grado de confiabilidad.

Si se obtienen resultados negativos en los análisis inmunológicos, el alimento modificado genéticamente, o sus extractos, debe ser analizados adicionalmente empleando pruebas *in vivo* de punción cutánea, pruebas doblemente a ciegas con alimentos controlados con placebos o evaluaciones de estabilidad digestiva. Si se

obtiene que tanto el análisis inmunológico como las otras pruebas son negativas, la probabilidad de que el alimento transgénico contenga alérgenos es muy pequeña. ⁽⁵⁾

En la evaluación de alimentos que contienen genes sin antecedentes alérgicos se procede a realizar una comparación de la secuencia de aminoácidos de la proteína introducida con la secuencia de aminoácidos de alérgenos conocidos, así como la estabilidad digestiva de la proteína introducida. La estrategia de IFBC-ILSI define secuencia semejante significativa a la semejanza de por lo menos ocho aminoácidos idénticos, contiguos en base a la longitud mínima de péptido requerida para el enlace de las células T, la cual es el prelude necesario para la sensibilización alérgica. Los alérgenos alimentarios conocidos tienden a ser muy estables a las proteasas digestivas, por lo tanto, la estabilidad digestiva se puede usar como un criterio para la evaluación del potencial alérgico de las proteínas introducidas. Se recomiendan los modelos gástricos e intestinales simulados, de digestión en mamíferos, para dichas evaluaciones. ⁽⁵⁾

5.3.4 Efectos involuntarios

Desde una perspectiva de inocuidad, los efectos involuntarios de la modificación genética son considerados como la manifestación de una expresión involuntaria de algún tóxico o factor antinutricional desconocido o inesperado, o bien, la producción aumentada de constituyentes tóxicos conocidos. ⁽⁷⁾ Sin embargo, en base al conocimiento adquirido hasta la fecha, no hay evidencia científica de que surjan tales efectos involuntarios en los alimentos derivados de la tecnología del ADNr. Se considera que estos efectos son poco probables en este tipo de

alimentos debido a la facilidad de predecir los cambios genéticos logrados a través de esta tecnología en comparación con los cambios genéticos al azar observados en los cruzamientos convencionales. Además estos efectos rara vez han sido observados en los miles de cruces realizados para el desarrollo de los cultivos convencionales. ⁽⁵⁾

Varios expertos en el tema de la inocuidad alimentaria humana, ⁽⁷¹⁾ han concluido que no hay evidencia de la existencia de riesgos específicos, ya sea que se usen las técnicas de la biotecnología del ADN_r o que se trasladen genes entre organismos no relacionados y que los riesgos asociados con la introducción de organismos derivados de la tecnología del ADN_r son de la misma índole que aquellos asociados con la introducción de organismos no modificados y organismos modificados a través de otros métodos.

Las mismas leyes físicas y biológicas rigen la respuesta de los organismos modificados por medio de métodos moleculares y celulares modernos, así como la respuesta de aquellos producidos por métodos clásicos. De hecho, los procesos biotecnológicos tienden a reducir los riesgos porque son más precisos y previsibles y hace posible introducir piezas de ADN, que pueden ser definidos de acuerdo a su función y a la secuencia de nucleótidos. Usando las técnicas clásicas de transferencia de genes es difícil predecir la cantidad exacta o las características que se han transferido y no podemos predecir siempre la expresión fenotípica que va a resultar. Con organismos modificados por métodos moleculares se está en una mejor posición para predecir la expresión fenotípica. ⁽⁵⁾

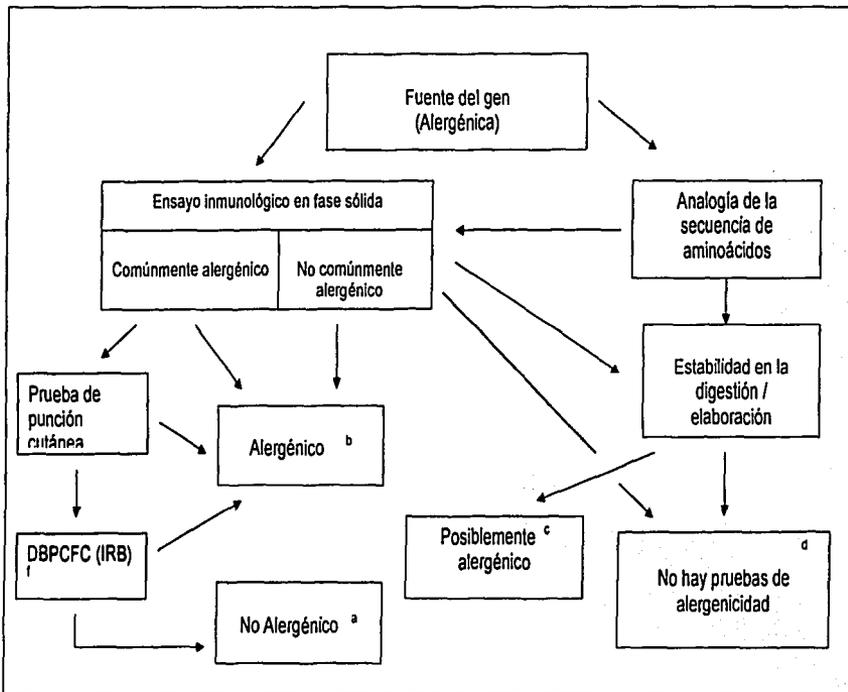
5.3.5 Monitoreo del medio ambiente

Antes de que se libere una variedad transgénica para uso comercial, se llevan a cabo extensas pruebas de campo en distintos lugares durante varios años. Así se liberan al público variedades de semillas certificadas que han pasado por un proceso de rastreo. La prueba definitiva en todos los casos es realizada en los sembradíos. Se monitorean los cultivos desde la siembra hasta la cosecha a través de pruebas de campo periódicas como seguimiento del nacimiento de las plantas, crecimiento, limitaciones de los nutrientes, floración, fructificación, maduración, plagas de insectos, enfermedades, control de malas hierbas y finalmente el rendimiento de cada cultivo se mide a la hora de la cosecha. ⁽⁵⁾ Las evaluaciones de riesgo requieren información básica como la biología y ecología de la especie, la identificación de especies emparentadas, así como datos ecológicos relevantes acerca del (o los) sitio(s) donde se pretenda liberar la planta transgénica. ⁽⁶⁸⁾

El monitoreo ha demostrado ser efectivo y sirve para dar la primera señal de alerta ante efectos desfavorables. Sin embargo, es importante mencionar que la información concreta acerca de los efectos reales de la tecnología del ADNr sobre el ambiente y la diversidad biológica, aún es muy escasa. Por consiguiente, no hay el conocimiento suficiente para saber la gravedad o la existencia de cualquier posible daño ambiental de esta tecnología. Por lo tanto, existe la necesidad de efectuar evaluaciones de riesgo muy completas en cuanto a las probables consecuencias de todas las variedades de plantas transgénicas desde una etapa

muy temprana de su desarrollo, así como de un sistema de seguimiento que permita evaluar esos riesgos en las pruebas de campo y liberaciones subsecuentes. La biotecnología del ADN_r requiere de una continua investigación y monitoreo, aún después de su aprobación. ⁽⁶⁸⁾

Fig. 5.1 Evaluación del potencial alergénico de los alimentos derivados de cultivos modificados genéticamente



Fuente: Adaptado del árbol de decisiones elaborado por IFBC y ILSI.

a. La combinación de pruebas efectuadas en personas alérgicas y con suero de éstas, proporcionará una seguridad elevada de que no se han transferido alérgenos importantes. La única incertidumbre que quedaría sería la probabilidad de que esté presente algún alérgeno menor que afecte a un porcentaje pequeño de la población alérgica al material de origen.

b. Cualquier resultado positivo que se obtenga en los ensayos con personas alérgicas o con suero de éstas, indicaría con un nivel de seguridad elevado que la proteína introducida era un alérgeno potencial. Los alimentos en losa que se haya introducido tales proteínas deberán etiquetarse para proteger a los consumidores alérgicos.

c. Una proteína introducida que no presente analogía de secuencia con alérgenos conocidos o derive de una fuente de alergenidad menos común y no tenga enlaces evidentes con IgE del suero de unos pocos individuos alérgicos (< 5), pero que resulte estable durante la digestión y la elaboración, se deberá considerar como un posible alérgeno. Para resolver esta incertidumbre se necesitaría una nueva evaluación. La naturaleza de las pruebas necesarias se determinará caso por caso.

d. Una proteína introducida que no presente analogía de secuencia con alérgenos conocidos y no resulte estable durante la digestión y elaboración no da prueba de ser alérgico. Análogamente, una proteína introducida expresada por un gen obtenido de una fuente de alergenidad menos común y para la cual se

demuestre que no tiene enlace alguno con IgE procedente del suero de un número pequeño de individuos alérgicos (> 5 pero < 14) no da pruebas de ser alérgica. En estos casos se podrán incluir pruebas de estabilidad. Sin embargo, el nivel de confianza basado solamente en dos criterios de decisión es modesto, se podrían considerar también otros criterios como el nivel de expresión de la proteína nueva.

VI. Legislación y etiquetado de los alimentos modificados genéticamente

Los beneficios ofrecidos por la ingeniería genética en el área de alimentos son enormes; sin embargo, el propio potencial de este conjunto de técnicas ha generado dudas y diversas preocupaciones en torno a los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente, derivados del uso y consumo de organismos transgénicos. Como respuesta a estas inquietudes, los gobiernos en distintos países están respondiendo con iniciativas de etiquetado, con el objeto de identificar en el mercado a los alimentos derivados de los organismos modificados genéticamente (OGM). De esta forma se puede proporcionar al consumidor la confianza y la información a la que tiene derecho.⁽⁷⁾

Considerando además que el avance de la ciencia en los últimos años ha sido de forma acelerada, es deber de los legisladores expedir leyes al ritmo que ésta vaya avanzando, con el fin de mantener a la ciudadanía debidamente protegida. La legislación que se adopte en materia de bioseguridad deberá proteger tanto la salud y la estabilidad social, como seguridad ambiental, pero también deberá garantizar y fomentar el desarrollo de una tecnología que tienda a conseguir los mismos fines. ⁽¹⁰⁷⁾

6.1 Organización para el control y manejo de productos transgénicos en Estados Unidos, México, la Unión Europea

Estados Unidos

Por ser Estados Unidos no sólo el principal productor de cultivos transgénicos, sino también el mayor exportador de estos productos, se ha considerado conveniente incluir un breve análisis de los mecanismos existentes en este país para la aprobación, control y seguimiento de este tipo de productos. La regulación de los productos diseñados genéticamente está a cargo de tres agencias del gobierno: USDA, EPA y FDA.

➤ **Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).**

Por medio del Servicio de Inspección de Salud Animal y Vegetal (APHIS), es responsable de proteger a la agricultura de las plagas y enfermedades. Esta agencia regula y controla el desarrollo de cultivos genéticamente modificados. ⁽¹⁰⁶⁾ Toda empresa o persona que desee llevar a cabo pruebas en el campo, debe pedir permiso a APHIS y debe proporcionar información sobre la planta, incluyendo todos los nuevos genes introducidos, los productos del gen, su origen, el propósito de la prueba, cómo se dirigirá la misma, las precauciones específicas que se realizarán para prevenir el escape de polen, plantas, o partes de la planta del sitio de prueba de campo, entre otras. Con base en esto, un especialista de APHIS evalúa los posibles impactos medioambientales de la prueba de campo propuesta, así como el posible impacto sobre las especies naturales que puedan verse afectadas o amenazadas por las nuevas variedades. ⁽¹⁰⁸⁾

➤ **Agencia de Protección del Ambiente (EPA).**

Garantiza la seguridad y uso de los agroquímicos (pesticidas y herbicidas) en el ambiente. Realiza pruebas para verificar si las plantas modificadas genéticamente contienen residuos de productos químicos. Esta agencia evalúa la seguridad para los humanos, el destino de la sustancia en el ambiente, la efectividad contra el tipo de plaga a la cual va dirigida y cualquier efecto adicional sobre otras especies que no son el objetivo del producto (por ejemplo: efecto sobre insectos benéficos).⁽⁶³⁾

➤ **Agencia Federal de Control de Alimentos y Medicinas (FDA).**

Es la encargada de garantizar la seguridad de los alimentos transgénicos, para lo cual aplica las mismas normas que para los alimentos que provienen de cultivos convencionales. Con relación al etiquetado de los productos transgénicos, esta agencia considera que los alimentos derivados de cultivos transgénicos sólo deben ser etiquetados si difieren significativamente de los alimentos provenientes 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. Por ejemplo, si su composición nutritiva puede o tiene el potencial de causar reacciones alérgicas.⁽¹⁰⁹⁾

Por lo general, los productos son regulados de acuerdo a la intención de uso, por más de una agencia, cada una de las cuales tiene sus leyes, regulaciones y controles establecidos.⁽⁶³⁾

A diferencia de la Unión Europea, las agencias regulatorias de los Estados Unidos de Norte América 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. 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. ⁽¹⁰⁹⁾

Por la falta de una legislación básica en cuanto a los transgénicos, las reglas vigentes se fundan en la legislación para los no transgénicos, suponiendo una "equivalencia" entre los OGM y los no OGM. Es decir que en los EU no hay ninguna ley específicamente para la regulación de los transgénicos. ⁽¹¹⁰⁾

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. Existen tres Regulaciones de la Unión Europea que gobiernan el etiquetado de alimentos e ingredientes derivados de OGMs y que son aplicables en todos los Estados Miembros. La primera se refiere a los alimentos e ingredientes derivados de OGMs que no habían sido consumidos en un grado considerable antes del mes de mayo de 1995 (la fecha de entrada de la legislación de la Unión Europea referente

a Alimentos e Ingredientes Novedosos), estos productos son considerados como alimentos "nuevos". La segunda Regulación se aplica específicamente a la soya y al maíz transgénicos, así como a sus productos derivados, ya que éstos OGMs habían sido aprobados y se encontraban en el mercado antes del mes de mayo de 1995. Finalmente, la tercera Regulación se refiere al etiquetado de alimentos e ingredientes que contienen aditivos o saborizantes obtenidos a partir de OGMs. ⁽⁷⁾

La situación de la Unión Europea en torno a los OGM es compleja. Grupos de consumidores manifiestan su desaprobación, en tanto, se cuenta con la aprobación oficial para productos transgénicos como maíz y soya. Además, ya hay países que están produciendo comercialmente estos productos. Por otra parte, el Gobierno Comunitario ha acordado una moratoria para los demás transgénicos, mientras que la comunidad científica europea continúa las investigaciones e incluso, varias de las principales empresas productoras de transgénicos son de capital europeo. ⁽¹¹⁾

España, Francia y Portugal producen y comercializan algunos productos transgénicos, aunque bajo estrictas normas de seguridad. Francia, pese a que inició las siembras de maíz, declaró una moratoria de dos años que no permite aprobar ningún producto transgénico diferente a este cereal. Por otra parte, Noruega, Austria, Luxemburgo y Alemania, han prohibido la producción y la importación de maíz Bt, al considerar que pone en riesgo a la población, pues señalan que contiene un gen de resistencia al antibiótico ampicilina.

Por su parte, en Inglaterra el gobierno se ha visto obligado a establecer una moratoria (ante la presión de grupos que se oponen a estos productos) para la comercialización mientras se profundizan ciertos estudios.⁽⁶³⁾

La población en general y las organizaciones de consumidores en particular, así como las organizaciones ambientalistas, mantienen una posición negativa con respecto a la producción, comercialización y consumo de estos productos. Estas organizaciones se han mostrado conflictivas y han manifestado su rechazo a la producción y comercio de los transgénicos. El criterio de la opinión pública según una encuesta reciente, revela que cerca del 60% de la población desapruueba el uso de los OMG por considerarlos riesgosos.⁽⁶³⁾

La agresividad de estas organizaciones ha llegado incluso a la quema de campos con cultivos transgénicos, así como a la realización de protestas dirigidas a las principales cadenas de supermercados y empresas productoras de alimentos y han ocasionado que muchos de éstos hayan dejado de utilizar estos productos.⁽¹¹¹⁾

La UE ha mostrado una política clara en cuanto a la identificación de los cargamentos de granos transgénicos que entran a su territorio. Su razón primordial es el derecho de los consumidores europeos a la información que eventualmente les permita aceptar o rechazar un producto transgénico. Estas razones también atañen a la seguridad alimentaria y su argumento principal es que hace falta más estudios respecto a su impacto potencial a largo plazo en la

salud humana. Por lo tanto estos países son defensores del etiquetado que es requerido por ley en la UE. Una dificultad para atender estas preocupaciones es la implementación de metodología certificada a nivel internacional para la detección del ADN recombinante y sobretodo en productos procesados en donde el ADN ha sido degradado, y en los que probablemente se encuentren las proteínas expresadas por el ADN foráneo también degradadas, pero cuya inocuidad no se ha aclarado suficientemente. ⁽⁷⁾

La Comisión Europea ya aprobó el etiquetado de los productos que contengan más del 1% de OGMs como "genéticamente modificado". Bajo estas nuevas regulaciones, un alimento que contenga a un OGM debe etiquetarse a menos de que: ⁽¹⁰⁹⁾

- 1) la adición del OGM en el alimento sea involuntario
- 2) que el OGM constituya no más del 1% de cualquier ingrediente en el alimento.

En Alemania incluso, varias empresas requieren que los productos certifiquen que contienen menos del 0.1%, o aún del 0.01% de ingredientes derivados de la tecnología del ADNr. ⁽¹¹²⁾

Los productos en los cuales tanto el ADN introducido como las proteínas resultantes son destruidos o eliminados durante el procesamiento del alimento, como ocurre con algunos aceites y saborizantes no son considerados bajo esta regla. ⁽⁷⁾

México

México es el cuarto productor y comercializador de productos transgénicos a nivel continental. ⁽⁶³⁾

Se debe indicar que a pesar de los avances logrados en el campo de los transgénicos, en el país existe una gran confrontación con los sectores opuestos a estos productos, debido principalmente al temor de la transferencia de genes de las variedades nuevas a las variedades silvestres, sobre todo si se tiene en cuenta que México, es un país con una gran diversidad biológica y es zona de origen de especies como, maíz, frijol y tomate, entre otras. ⁽⁶³⁾

En nuestro país la reglamentación de productos generados por medio de la ingeniería genética se fundamenta principalmente en la Constitución, la cual establece las líneas generales que deben seguir las dependencias gubernamentales, la Ley General de Salud, la Ley Federal de Sanidad Vegetal, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas y diversas normas oficiales y otros ordenamientos reglamentarios.

Las principales características de la normatividad aplicable son las siguientes:

➤ **Ley General de Salud.**

La regulación sobre el uso de productos provenientes de vegetales transgénicos producidos localmente o que se importan para consumo humano directo o indirecto, está en el decreto que reforma la Ley General de Salud del 7 de mayo de 1997. El Capítulo XII define a los productos biotecnológicos y después

establece que las disposiciones y especificaciones relacionadas con el proceso, características y etiquetado de esos productos, se establecerán en las normas oficiales correspondientes, las cuales aún no están listas. ⁽¹¹³⁾

Se especifica en el Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios de la Secretaría de Salud un apartado 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. Los responsables del proceso de los productos deben presentar ante la Secretaría de Salud 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 Secretaría. ⁽¹¹⁴⁾ Sin embargo, a pesar de que se pide una notificación, no se especifica qué es lo que debemos entender por ésta y qué es lo que debe contener. Tampoco se especifica quién deberá hacer la notificación, puesto que la podría hacer desde el productor, el que procesa, el que distribuye o el que finalmente venderá. Con esta situación en caso de querer responsabilizar a alguien por problemas derivados del consumo o uso de estos productos, surge la cuestión sobre quién deberá recaer la responsabilidad. ⁽¹²⁹⁾

➤ **Ley Federal de Sanidad Vegetal.**

Incluye, dentro de su concepto de "insumo fitosanitario", al material transgénico, y a este último también lo define, como "genotipos modificados artificialmente que,

debido a sus características de multiplicación y permanencia en el ambiente, tienen capacidad para transferir a otro organismo genes recombinantes con potencial de presentar efectos previsibles o inesperados". Igualmente, se señala en su artículo 43 que la aplicación, uso o manejo de material transgénico, está sujeto al certificado fitosanitario correspondiente, pero sólo en el área de programas experimentales y combate a plagas. ⁽¹¹⁴⁾ Esto último significa que cuando se intente usar OGMs y no se trate de programas experimentales o de combate a plagas, la autoridad no puede sujetar esa actividad diversa a un certificado fitosanitario por respeto al principio de legalidad, el cual contempla que la autoridad únicamente puede hacer lo que le está expresamente permitido, mientras que el particular (gobernado), puede hacer todo lo que no le esté expresamente prohibido. Se puede decir que esta ley regula con su particular enfoque de manera mínima a los OGM, pues sólo hace referencia a la intervención de la autoridad cuando se trate del uso del material transgénico en programas experimentales o de combate a plagas. Además fuera de estos supuestos no se puede obligar al particular a cumplir con preceptos que no tienen una motivación y fundamento legal, al menos en cuanto a OGM se refiere. ⁽¹²⁹⁾

➤ **Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas.**

Contempla la obligación de solicitar una autorización para realizar investigaciones con materiales transgénicos vegetales de alto riesgo, requisitos para importar semillas y lineamientos para certificación y verificación de las mismas. Generalmente, esta autorización va de la mano del permiso fitosanitario

contemplado en la Ley Federal de Sanidad Vegetal, otorgándose el mismo con fundamento en ambos ordenamientos. ⁽¹¹⁴⁾

➤ **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.**

Este ordenamiento contiene múltiples referencias al material y a los recursos genéticos. En la misma Ley, se define al material genético y al recurso genético ("el material genético de valor real o potencial"), en su artículo 5º, fracciones XXI y XXVIII. En su artículo 82 se precisa que las disposiciones de tal Ley son aplicables a la posesión, administración, preservación, repoblación, propagación, importación, exportación y desarrollo de la flora y fauna silvestre y material genético. Así, aunque no se habla de OGMs, OVMs (organismos vivos modificados) o transgénicos, en lo particular, se entiende que éstos son especies del género "recurso genético". Consecuentemente, esta Ley da el marco general que permite y legitima jurídicamente la regulación ambiental, a través de sus respectivos reglamentos, de OGMs. ⁽¹¹⁴⁾

➤ **Ley Federal de Variedades Vegetales.**

Sus disposiciones son más bien dirigidas a la propiedad intelectual sobre OGMs del reino vegetal, protegiendo los derechos de los obtentores de variedades vegetales nuevas, estables, distintas y homogéneas. ⁽¹¹⁴⁾

➤ **Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios.**

Este reglamento derivado de la Ley General de Salud, entre sus artículos 164 y 167, se señala que son objeto de tal reglamento, "*los alimentos, ingredientes,*

aditivos o materias primas para uso o consumo humano, en forma directa o indirecta, que deriven o en su proceso intervengan organismos o parte de ellos y que han sufrido cualquier manipulación genética". Los responsables de estos productos, deberán presentar la información técnica de ellos a la Secretaría de Salud, a fin de demostrar la "inocuidad y estabilidad" de los mismos, y su comercialización estará sujeta a la evaluación que se haga, por parte de las autoridades sanitarias respectivas. Las etiquetas de estos productos deberán contener información sobre características y riesgos que representen éstos a la salud, "conforme a lo que disponga y especifique la Secretaría para el caso". Se señala que en las "normas" se establecerán los lineamientos o especificaciones sobre actividades, establecimientos, productos y servicios biotecnológicos.⁽¹¹⁴⁾ De lo anterior podemos entender que los productos biotecnológicos que regula este ordenamiento son todos, siempre y cuando sean para uso o consumo humano de forma directa o indirecta y cuando se menciona de forma indirecta esto puede implicar por ejemplo, alimentos que hayan sido modificados genéticamente para animales cuyo consumo final sean los seres humanos. Queda claro que se debe presentar un informe sobre los estudios y resultados de inocuidad y estabilidad de productos, de cuya evaluación dependerá su comercialización, y en caso necesario, esto también depende de los resultados del análisis del muestreo que hará la Secretaría de Salud. Sin embargo, las especificaciones que se deben de cumplir, no están establecidas puesto que la norma oficial correspondiente aún no existe. ⁽¹²⁹⁾

➤ **Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud**

Especifica criterios técnicos para regular la aplicación de los procedimientos relacionados con los recursos y establece los principios científicos, éticos, y las normas de seguridad en el caso de materiales que conlleven riesgos para la salud humana. Este reglamento establece buenas bases para la regulación de OVMs, pero se refiere específicamente a actividades de investigación confinadas en espacio de laboratorio.⁽¹¹⁴⁾

➤ **Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Publicidad.**

Este reglamento contiene disposiciones específicas sobre la publicidad de los productos biotecnológicos, también definidos por este ordenamiento. Sus disposiciones remiten a normas oficiales mexicanas, aún inexistentes. Cabe señalar que este reglamento sólo contiene parámetros amplios sobre aspectos a considerar en esta publicidad en particular.⁽¹¹⁴⁾

➤ **Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.**

Conforme al artículo 5° de este ordenamiento, publicado el año 2000, requerirán autorización de SEMARNAT en materia de impacto ambiental, las siguientes actividades: reforestación o instalación de viveros con variedades transgénicas y siembra de variedades transgénicas en ecosistemas acuáticos, en unidades de

producción instaladas en cuerpos de agua, o en infraestructura acuícola situada en tierra.

➤ **NOM-FITO-056-1995.**

Publicada el 11 de julio de 1996 (Diario Oficial de la Federación), su campo de aplicación respecto a los OVMS se encuentra delimitado a requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética. Esta NOM se aplicaba por el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola, órgano creado desde el año de 1988, sectorizado a la actual Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sin embargo, a partir del nacimiento de la CIBIOGEM (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados), en su Acuerdo de creación se establece que las facultades y funciones propias del Comité mencionado, pasarán ahora al Consejo Consultivo de Bioseguridad, órgano consultivo creado en el mismo Acuerdo. ⁽¹¹⁴⁾

Esta norma es muy limitada, pues sólo define la siembra de materiales transgénicos a nivel experimental, sin especificar dimensiones. No se habla sobre el manejo de los productos cosechados, ni su transporte, ni se contempla la importación de materiales modificados para consumo directo o para industrialización. ⁽¹¹⁵⁾

➤ **Modificación hecha al artículo 420 Ter, del Código Penal Federal.**

Dicho artículo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de febrero de 2002, señala que "se impondrá la pena de uno a nueve años de prisión y de

trescientos a tres mil días de multa a quien en contravención de lo establecido en la normatividad aplicable, introduzca al país, o extraiga del mismo, comercie, transporte, almacene o libere al ambiente, algún organismo modificado genéticamente que altere o pueda alterar negativamente los componentes, la estructura o el funcionamiento de los ecosistemas naturales". ⁽¹¹⁸⁾

Se entiende que lo que motivó la redacción de este artículo está basado en la importancia de proteger el medio ambiente y en particular, la biodiversidad de México. Sin embargo, por la forma en que quedó redactado este artículo se va a inhibir y a lesionar el desarrollo de la biotecnología mexicana, tanto a nivel científico, como tecnológico e industrial. Esta nueva disposición penal, de no modificarse, inhibirá importantemente el desarrollo de la biotecnología y áreas relacionadas, como la biomedicina y la biología experimental mexicanas. Cualquiera que simplemente "*almacene o transporte organismos transgénicos que pudieran tener efecto sobre el medio ambiente*", en principio y de acuerdo con este artículo, puede ser sujeto de denuncia y proceso penal. Implícitamente se están comparando los OGMs con materiales químicos altamente riesgosos. ⁽¹¹⁸⁾

Muchos grupos científicos en México trabajan con organismos transgénicos y podrían ser denunciados penalmente con el simple argumento (una simple sospecha) de que los organismos transgénicos que desarrollan, almacenan o transportan *pudieran* tener efecto negativo sobre el medio ambiente mientras no se demuestre lo contrario. Esto para el investigador significa un retraso en el desarrollo tecnológico del país que impedirá las investigaciones nacionales por lo

que se promueve la dependencia tecnológica. Hasta ahora, en ningún lugar del mundo se ha comprobado que los organismos genéticamente modificados o transgénicos ocasionen daño alguno a los ecosistemas, a los seres humanos o a cualquier especie de planta o animal, pero el precepto del artículo da por hecho que son dañinos. ⁽¹¹⁸⁾

➤ **Iniciativa de Ley de Bioseguridad**

A la fecha existen tres proyectos de ley sobre Bioseguridad presentados por los partidos Acción Nacional, Verde Ecologista ⁽¹¹⁹⁾ y otro generado por la Academia Mexicana de Ciencias, ⁽¹²⁰⁾ ésta última ya ha sido aprobada por el Senado mexicano, la cual regulará las actividades de experimentación, liberación, exportación y comercialización de los transgénicos. ⁽¹²¹⁾

Los productos provenientes de plantas transgénicas están regulados a nivel general, pero no existen todavía las normas específicas. La Secretaría de Salud tampoco cuenta todavía con organismos asesores en materia de bioseguridad, ni ha hecho públicos los procedimientos requeridos para la aprobación de productos, a pesar de que algunos ya han sido aprobados.

La legislación mexicana y sus instrumentos regulatorios relacionados con el consumo seguro de alimentos derivados de OVMs requieren normas específicas. Se necesita incrementar realmente los mecanismos de comunicación con empresas, productores y la sociedad sobre los beneficios, riesgos, regulaciones y decisiones tomadas en relación con las nuevas tecnologías. ⁽¹²²⁾

Por parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca no existen regulaciones que normen o controlen la posible afectación de los ecosistemas. El problema en México no se reduce a la ausencia o limitación de regulaciones, abarca áreas como la inexistencia de instituciones ejecutoras y de personal especializado. Por ejemplo, la comercialización de productos agrícolas genéticamente modificados queda fuera de la norma de agricultura y no hay ni regulación ni dependencia de la Semarnat que responda por el manejo de los productos transgénicos. La Secretaría de Salud ha aprobado el consumo de cinco productos importados: canola, jitomate, papa, soya y algodón, pero no cuenta con elementos que permitan hacer un seguimiento de sus efectos en la salud humana.

(119)

6.2 Instrumentos internacionales para el control y manejo de alimentos transgénicos

➤ Codex Alimentarius

La Comisión del Codex Alimentarius fue establecida en 1962 por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Su propósito es establecer normas que garanticen la sanidad y la inocuidad de los alimentos para consumo humano, así como permitir que los países puedan intercambiar libremente los alimentos que cumplen con dichas normas. Este organismo se convirtió en una pieza importante desde que la Organización Mundial de Comercio (OMC) en 1995 lo designó como "marco de referencia" en la resolución de disputas comerciales internacionales en materia de inocuidad de alimentos. De esta manera, la OMC decide en base al

Codex lo que se puede comerciar o no y las sanciones que corresponda aplicar cuando se violen sus normas. ⁽¹²⁶⁾

En 1999, se creó el Grupo de Acción Intergubernamental del Codex sobre alimentos obtenidos por medios biotecnológicos. La primera reunión del grupo se llevó a cabo en marzo de 2000. Ahí se decidió elaborar dos textos principales, los cuales todavía están en discusión: ^(127, 128)

- 1) "Principios para el análisis de riesgos sobre alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos"
- 2) Directrices para la evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de plantas obtenidas por medios biotecnológicos modernos"

Los textos introducen un nuevo concepto dentro de la evaluación de riesgos: "evaluación de la inocuidad" que se realizará al inicio del proceso. El nuevo concepto está definido para identificar si existe algún peligro, preocupación nutricional u otra preocupación relativa a la inocuidad. El objetivo no es analizar cada uno de los peligros asociados a un alimento determinado, sino establecer cuáles son los peligros nuevos o alterados con respecto al homólogo convencional.

Otro de los aspectos controversiales en el documento sobre las directrices, fue la rastreabilidad. Este es un sistema que permite encontrar la historia o el origen de un producto, en cualquier punto de la cadena alimentaria. Éste es uno de los puntos de mayor conflicto porque está vinculado directamente a los conceptos de

responsabilidad y compensación. Los Estados Unidos está liderando la lucha en contra de la inclusión de este concepto en el documento; al otro lado de la batalla se encuentra la Unión Europea y Noruega.

El grupo de Acción Intergubernamental tiene previsto iniciar un nuevo trabajo bajo el patrocinio de Canadá y Estados Unidos sobre la evaluación de la seguridad de los microorganismos genéticamente modificados, utilizados en la producción y transformación de los alimentos. ^(127, 128)

➤ **Protocolo de Bioseguridad**

La preocupación de los gobiernos por el riesgo que para el ambiente significa la liberación de OGMs, condujo a la conclusión de que era necesario desarrollar y aplicar políticas y regulaciones en materia de bioseguridad (manejo responsable de los seres vivos) en cada país y de que era necesario tomar medidas a nivel internacional para regular la movilidad transfronteriza de estos materiales. Es por esto que se propuso la creación de un Protocolo Internacional de Bioseguridad, el cual constituye un convenio internacional entre los países que forman parte de la Convención de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica.

Este instrumento deriva del Convenio sobre la Diversidad Biológica firmado por México el 13 de junio de 1992 y publicado el 7 de mayo de 1993 en el Diario Oficial de la Federación. De este documento se crea la noción de bioseguridad como el control de riesgos al ambiente y salud humana cuando se utilizan o liberan Organismos Vivos Modificados (OVM).

El objeto del Protocolo de Bioseguridad es "contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los OVM resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana, y centrándose concretamente en los movimientos transfronterizos"; aporta los lineamientos mínimos para el movimiento transfronterizo de OVM (Acuerdo Fundamentado Previo) y su uso confinado, principalmente. El Acuerdo Fundamentado Previo (AFP) se aplica al primer movimiento transfronterizo de un OVM que se pretende liberar intencionalmente en el ambiente y tiene por objeto permitir que los países importadores tengan la libertad soberana de solicitar la información necesaria para realizar una evaluación del riesgo de liberar en sus territorios ese OVM. Una vez realizado el análisis de riesgo, se permitiría el movimiento transfronterizo con un consentimiento explícito por escrito.

Este documento establece también las reglas internacionales que obligarán a los países a adoptar el Principio Precautorio (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) como base para las decisiones relacionadas con el movimiento transfronterizo, tránsito, manejo y uso de los organismos vivos modificados o transgénicos. ⁽¹¹⁵⁾

Este ordenamiento será de gran ayuda para aquellos países que no tienen aún un marco regulatorio sobre organismos genéticamente modificados y que son importadores de semillas y alimentos. ⁽¹¹⁶⁾

El 1° de julio de 2002, en el Diario Oficial de la Federación apareció la ratificación de México al Protocolo de Bioseguridad. Sin embargo, México no cuenta aún con toda la reglamentación necesaria para evaluar los riesgos de la liberación de todas las categorías de OVM como para asegurar la inocuidad para el medio ambiente y la salud de todos los productos que contengan al organismo vivo. Su contenido no entrará en vigor inmediatamente, pues tendrá vigencia una vez pasados 90 días contados a partir de la ratificación del país número 50. Actualmente sólo lo han ratificado 18 países. ⁽¹¹⁷⁾

6.3 Problemática sobre la regulación del etiquetado de los alimentos modificados genéticamente a nivel internacional

El etiquetado de alimentos transgénicos o provenientes de OGMs presenta una importante problemática. Por un lado existe el rechazo a su consumo en la Unión Europea y por el otro se encuentra la enorme desregulación que se tiene en los EUA. La problemática que esta discusión enfrenta en buena medida está dada por el posible contenido de la etiqueta, que de forma ideal debe dar confianza al consumidor y debe proveerle con información útil. (7)

El gobierno mexicano no exige el etiquetado de los OMG y tampoco cuenta con métodos certificados para su detección pero ahora es indispensable este tipo de información para el comercio exterior, principalmente con el mercado Europeo.

Estados Unidos se opone al etiquetado argumentando que la FDA ha estudiado estos productos y que no existe ningún peligro y sólo considera necesario el etiquetado en los transgénicos con nuevas proteínas, que sin duda alguna podrían ocasionar problemas de salud. ⁽¹⁰⁹⁾ Ante este argumento, la UE se ha mostrado renuente a aceptar esta situación y ha decidido mantener el principio de precaución. En gran medida, la oposición de los consumidores europeos hacia estos productos está basado en la desconfianza existente en el control de la calidad de los alimentos que consumen, y en las recientes experiencias negativas que han vivido. Por esta razón, la Comisión Europea, acordó el establecimiento de una Agencia de Seguridad Alimentaria, en un plazo no mayor a dos años. ⁽⁶³⁾

La Delegación de Alemania, que habla en representación de los Estados Miembros de la Unión Europea, argumenta que, con el objeto de permitir que los consumidores efectúen una elección informada del producto, el etiquetado sistemático de todos los productos derivados de los OGMs es necesaria, ya que éstos alimentos no son equivalentes a los productos convencionales relacionados. Hay un concepto básico que es el derecho del consumidor a la información, y es la manera en que los europeos han enfocado el problema. ⁽⁷⁾

El debate actual acerca del etiquetado de los alimentos transgénicos debe tener en mente que existe esta variedad de productos en el mercado actual y que hay

una importante diferencia entre un alimento que *per se* es un organismo manipulado genéticamente como serían granos de maíz Bt. resistentes a insectos y un producto obtenido a partir de un OMG, como sería el almidón o el aceite obtenidos de dichos granos, donde los subproductos ya han sido extraídos del grano y el ADN foráneo no se encuentra en el producto final o se encuentra degradado. Algo que debe analizarse a fondo también, son los productos de los genes introducidos en estos OMG, o sea, las proteínas expresadas en el alimento transgénico que podrían permanecer intactas o fragmentadas en el producto final y cuya inocuidad debe ser analizada cuidadosamente.⁽⁷⁾

Las implicaciones de demandar el etiquetado de los productos o subproductos de los OMG, no sólo conciernen al derecho del consumidor a la información útil y fidedigna, sino que tienen también repercusiones económicas, ⁽¹²¹⁾ ya que al imponer una etiqueta requiere de gastos que la industria debe asumir (disponibilidad de métodos analíticos cuantitativos para detectar la presencia de ingredientes derivados de la tecnología del ADNr, costos al segregar el producto durante su almacenamiento y manejo, análisis de muestreo, certificación) y que seguramente repercutirían en el precio final del producto. ⁽⁷⁾

Otro problema consiste en que actualmente no hay métodos de muestreo internacionalmente reconocidos, pues el método debe tomar en cuenta la posible heterogeneidad de las muestras debido a la contaminación accidental a partir de la polinización cruzada o durante la distribución. ⁽¹²³⁾

El principal foro internacional para la discusión del etiquetado de alimentos derivados de la tecnología del ADNr, es la Comisión del Codex Alimentario. El Codex implementa el Programa Internacional de Estándares Alimentarios bajo la inspección de la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (WHO). Su propósito es armonizar los requerimientos alimentarios internacionales para promover la salud pública y el comercio internacional. Sin embargo, no todos los países participantes adoptan todos los estándares del Codex. ⁽¹²³⁾

El Comité del Codex sobre Etiquetado de Alimentos (CCFL) por varios años ha estado discutiendo cómo se deben etiquetar los alimentos derivados de la tecnología del ADNr, con el propósito de tener sólo un criterio respecto a los requerimientos de rotulación. El Comité está considerando dos enfoques básicos. Uno, cuando los alimentos derivados de la tecnología del ADNr difieran significativamente de la versión convencional del alimento, ya sea en valor nutricional, en propiedades físicas o de manejo, o por la presencia de un alérgeno no indicado por el nombre del producto. Esa diferencia debe ser indicada en la etiqueta. El otro enfoque al etiquetado, implica que se usó la biotecnología del ADNr, tanto en el alimento o para producirlo y es en sí una diferencia que requiere declaración. ⁽¹²³⁾

Un análisis efectuado por Kim Nill, Director de Biotecnología de la Asociación de Soya de los Estados Unidos (ASA), sobre las normas del Codex Alimentarius que solicita un etiquetado especial de los productos GM muestra que esto reduciría el uso de los cultivos biotecnológicos y en consecuencia disminuiría la seguridad en

el suministro de los alimentos. Menciona que el etiquetado de los OMGs ocasionaría que se incrementaran los costos tanto para los fabricantes como para los consumidores. Estudios realizados con relación a las segregaciones de productos GM y los que no son GM mostraron que no es práctico y que es costoso. Indica también que un estudio reciente de la industria canadiense de alimentos estimó que sólo por el manejo de la segregación y del etiquetado los costos de los alimentos al menudeo en Canadá aumentarían en un 9-10%; y que la estimación no incluía los costos de las anulaciones en productos que hayan sido mal etiquetados. ⁽¹²²⁾

El etiquetado no dará mayor seguridad a la gente temerosa de los OGM's: "lo que realmente aporta la confianza son los controles ambientales y sanitarios, y en ese rubro el gobierno deberá hacer campañas informativas para hacerle ver a la sociedad que la ciencia no se hace en perjuicio de nadie, simplemente evoluciona en pro del desarrollo" (Ibarra S. 2001)

Por otro lado, en los EU desde hace seis años se han estado consumiendo alimentos transgénicos, en especial productos de maíz como almidón, jarabes de maíz y altos en fructosa y aceite y a la fecha no se ha presentado ningún caso de alergia o daños a la salud que cuestionara esta decisión. Así que la información contenida en una etiqueta no ha sido un tema importante para el consumidor norteamericano.

Sin embargo, el 18 de septiembre del 2000 un maíz transgénico con la toxina Cry9C de *Bacillus thuringiensis* resistente a insectos autorizado únicamente para consumo animal por la EPA, entró a la cadena de producción de alimentos para consumo humano inadvertidamente. En consecuencia, la compañía que lo produjo tuvo que rastrear el transgen en los productos de maíz que lo contenían y fueron retirados del mercado. ⁽¹²⁴⁾ La razón para su retiro, a pesar de que no se ha comprobado que sea dañino, es que no se había autorizado para otro uso diferente y por lo tanto no se tiene una respuesta al respecto de su seguridad en el ser humano. Probablemente una forma de etiquetado o de identificación del cargamento del maíz no autorizado hubiera ahorrado el enorme gasto a la compañía. Sin embargo queda en el aire la pregunta de qué tipo de información y qué tipo de identificador podría utilizarse para los llamados "commodities" o granos a granel.

Una pregunta de fondo más importante sería ¿cómo poder informar al consumidor de una manera objetiva y científica? ¿Cómo lograr que la etiqueta sea útil para el público? ¿Cómo evitar el miedo en el consumidor al ver una etiqueta que dice que su alimento preferido contiene ahora un transgénico? (7)

Como consumidor uno esperaría disponer de información clara y fidedigna, pero en una etiqueta no hay espacio suficiente para explicar la gran problemática que se ha desatado. La experiencia con estos productos novedosos es muy reciente y no se sabe si los transgénicos a la larga tendrán algún impacto, por remota que parezca actualmente esa posibilidad después de la experiencia de seis años de su consumo en los EU y en los países que les compran maíz. En México el problema

consiste en que nuestra fuente primordial de maíz proviene de los EUA, donde aproximadamente un 30% de los granos son transgénicos y ese maíz no segregado alcanza la cadena de producción de las tortillas, que es un alimento donde se consume el maíz entero (pero nixtamalizado) y con más frecuencia que los productos procesados como almidón, jarabes, o aceite. ⁽⁷⁾

Los transgénicos impactan prácticamente todos los niveles de la cadena productiva.⁽⁷⁾ Actualmente forman parte importante del grano que consume el ganado lechero y de engorda, se consumen íntegros cuando se trata de maíz entero que en México se come simplemente hervido, forma parte de las materias primas para producir almidón, jarabes, aceites, aditivos, espesantes, estabilizantes y edulcorantes. Por lo tanto en cada producto hay un posible impacto diferente, ya que se encuentran purificados en distintos grados y en algunos el ADN transgénico ha sido destruido por el procesamiento, pero en otros no sucede así. En una cultura del maíz como la mexicana, ¿cuál sería el impacto de consumir con gran frecuencia una fuerte cantidad de maíz comparada con la cantidad a la que están expuestas sociedades industrializadas donde sólo se consume en forma de aditivos y por lo tanto en menor cantidad? Es probable no haya un impacto importante, pero no hay respuestas científicas claras al respecto. Esto indica que todavía hay muchos experimentos que realizar para obtener esas respuestas. ⁽⁷⁾

VII. Discusión sobre los aspectos que han originado la aceptación o rechazo de los alimentos modificados genéticamente

Los riesgos potenciales en contraposición a los beneficios de los organismos genéticamente manipulados que son destinados para consumo humano, han sido durante los últimos años uno de los temas más polémicos a nivel mundial.

Se ha logrado una gran y rápida difusión de información que en muchas ocasiones carece de fundamentos científicos, provocando la desconfianza de la gente hacia su consumo y comercialización. La biotecnología es una tecnología altamente criticada con respecto a la conservación del medio ambiente y la salud humana, por lo que se encuentra en medio de un debate social lleno de temores y sospechas. Dentro de esta discusión se pueden identificar tres posiciones:

Defensores

Quienes están a favor de la producción y el comercio de transgénicos argumentan que el mundo requiere aumentar la cantidad y mejorar la calidad de su producción de alimentos y que estos productos son una opción válida. Indican que son seguros, propician aumentos en la producción y reducen los requerimientos de agroquímicos. Esta posición es liderada por los principales productores y exportadores de OMG (Estados Unidos, Canadá y Argentina, entre otros) y por las empresas transnacionales que participan en el desarrollo de esta tecnología y que se oponen a toda restricción al comercio de estos productos.

Opositores

Quienes están en contra, consideran que se juega con la vida, lo cual a su juicio no es ético. Señalan que no hay estudios que permitan tener la certeza de que no se producirán daños irreparables al medio ambiente y a la salud humana a mediano y largo plazo, al liberar estos productos. Esta es una posición sustentada principalmente por grupos ecologistas y organizaciones de consumidores, en especial de la Unión Europea.

Aceptación condicionada

Una tercera opinión que podría clasificarse como intermedia, acepta que los avances en el campo de la biotecnología aplicada a la agricultura no se pueden detener, pero se advierte sobre la necesidad de reducir los riesgos que conlleva. Sugiere además, un seguimiento cuidadoso del desarrollo de esta tecnología y propician la generación de mecanismos que fortalezcan la bioseguridad. Su preocupación básica es la minimización de los riesgos que esta tecnología pueda acarrear, sobre todo para países con una enorme biodiversidad.

Toda la aplicación científica tiene un nivel de riesgo y la biotecnología no está libre de ellos. Como cualquier adelanto de la ciencia, lo nuevo o desconocido siempre causa miedo e incertidumbre y los organismos modificados genéticamente no son la excepción, pero no se trata de rechazar los riesgos, sino de saber cómo manejarlos. El no utilizar la biotecnología para resolver los problemas implicaría riesgos quizá mayores, pues su potencial supera a sus riesgos, que son menores que los de otras muchas tecnologías que hasta ahora ha manejado el hombre.

No existen actividades humanas de riesgo cero, sino que existen actividades con riesgos relativos que hay que ir evaluando progresivamente y sopesándolos con los beneficios que se pueden obtener.

Hay que reconocer que es imposible predecir a largo plazo los impactos ecológicos que esta tecnología pudiera causar con el estado actual de nuestro conocimiento. Pero esto no es exclusivo de la biotecnología, más bien es una cuestión específica del desarrollo de las grandes tecnologías que requiere actuar con cautela y responsabilidad. Pienso que no es congruente renunciar absolutamente a una posibilidad tecnológica que bien manejada podría proporcionar grandes beneficios a la humanidad.

Después de un análisis de toda la información consultada, se debe destacar que todo el conocimiento con el que se cuenta hasta la fecha, apoyado en bases científicas, señala con relación a los cultivos transgénicos y a los alimentos derivados de estos organismos que hoy se utilizan, que éstos son tan seguros como los convencionales. Expertos en nutrición, médicos y científicos de diferentes áreas, no conocen ningún tipo de efecto negativo importante hacia la salud y declaran que nunca en la historia de la alimentación una evaluación sanitaria en cuanto a la composición nutricional, toxinas y factores alergénicos fue tan estricta como en los alimentos transgénicos. Estos datos indican que en realidad el riesgo que se corre al consumir estos alimentos es mínimo, pues han pasado por estrictos controles de inocuidad, cosa que no se hace con los alimentos convencionales.

Por otro lado, varios estudios realizados muestran que no existe ninguna evidencia de que los cultivos transgénicos que hoy se utilizan en el campo dañen el medio ambiente más de lo que pudiera hacerlo la agricultura tradicional y los pesticidas químicos que se utilizan en el control de plagas. Es importante resaltar que la liberación de organismos modificados genéticamente debe hacerse de manera cuidadosa y atendiendo a los protocolos y reglamentos que existen y los que se generen para ello, para así tener un mayor control sobre ellos y poder reducir aún más los riesgos.

Los beneficios que esta tecnología puede brindar son enormes, no sólo en el caso de los alimentos, sino también en el área de la farmacia. Por ejemplo, desde hace diez años se comercializa insulina transgénica que evita daños importantes de rechazo y alergia que causaba la insulina proveniente de puercos, las vacunas transgénicas contra la hepatitis son mucho más efectivas, la producción de hormonas humanas, factores anticoagulantes, anticuerpos contra el cáncer, son sólo una muestra de los productos de la biotecnología, antes de cuyo desarrollo era imposible su obtención a escala industrial. Los beneficios que ofrece esta tecnología en el sector agrícola son evidentes, como mayores rendimientos, tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos, mejoras nutricionales y producción de vacunas comestibles. Como se puede observar, la biotecnología moderna nos ofrece la gran oportunidad de proteger nuestro medio ambiente mejorando la eficiencia y la productividad de la agricultura, al mismo tiempo que ofrece productos con beneficios tangibles para los consumidores.

Es necesario reconocer que la ingeniería genética no es la panacea, pero sí es una potente herramienta con la que se puede solucionar varios problemas si es empleada correctamente. La producción de organismos transgénicos ofrece muchas ventajas, pero la investigación debe realizarse en una forma responsable, regulada y monitoreada para garantizar al consumidor y al medio ambiente su inocuidad. La sociedad debe mantenerse bien informada con bases científicas, con el fin de fundamentar su aceptación o rechazo de la tecnología transgénica.

Es evidente que la falta de información de la sociedad con respecto a los alimentos transgénicos aumenta la desconfianza hacia ellos, pero en realidad muy poca gente sabe qué son. A la información sobre este tema le hace falta tener que difundirse entre los científicos y los demás sectores de la sociedad. En él se debe explicar lo que es la biotecnología, cuáles son sus aplicaciones, así como los riesgos y beneficios que se tienen al adoptar este tipo de tecnología. Existe una falta de información y es la comunidad científica la que tiene la obligación de promoverla.

Los defensores de la biotecnología aplicada a los alimentos no se han preocupado por convencer a los consumidores de los beneficios que pueden obtener de ella. En cambio, los opositores han expuesto las inquietudes y temores que con frecuencia no tienen como fundamento la ciencia.

No existe forma sencilla para informar al público de manera imparcial sobre los cultivos modificados genéticamente. La cobertura de los medios de comunicación

tiende a estar manipulada y los resultados preliminares que se pueden contradecir en informes posteriores confunden al público acerca de los hechos reales.

Probablemente gran parte del rechazo hacia los alimentos genéticamente modificados se debe a que se perciben como un beneficio directo pequeño para los consumidores. Si el público pudiera ver o experimentar beneficios tangibles en ellos, habría más actitudes de aceptación. Esto puede ocurrir con algunos productos en desarrollo; sin embargo, las aplicaciones actuales de la tecnología transgénica han propiciado un beneficio más directo e inmediato a compañías y granjeros mientras que para el consumidor directo han sido menos visibles.

La percepción pública es un aspecto fundamental para la aplicación y uso de los desarrollos de la biotecnología moderna. Llama la atención que una gran parte de la población parece aceptar la ingeniería genética para aplicaciones relacionadas con la salud tales como la producción de medicinas, mientras se está incrementando el rechazo hacia los alimentos producidos por las mismas técnicas. Por ejemplo, nadie duda en inyectarse insulina transgénica pero muchos se niegan a ingerir un alimento proveniente de esta tecnología. Esto indica que para usos en medicina y salud la relación riesgo-beneficio parece aceptable para este público, mientras que para productos alimenticios, el riesgo percibido parece exceder los beneficios percibidos.

Es necesario entonces acelerar la producción de los productos biotecnológicos orientados hacia las verdaderas necesidades de los pequeños productores y de los consumidores, así junto con una percepción pública basada en información

confirmada que promueva discusiones equilibradas de los riesgos y beneficios a los sistemas agrícolas, a la biodiversidad y a la salud la aceptación y confianza hacia estos productos será mayor. La reciente noticia de la obtención por medio de la ingeniería genética de plantas de arroz capaces de proveer vitamina A e hierro, es un ejemplo concreto en donde la biotecnología agrícola se percibe como una herramienta de investigación que permite resolver problemas reales que afectan directamente al consumidor.

La falta de datos científicos, opiniones y visiones no basadas en información confirmada, riesgos potenciales no identificados e ignorancia sobre los temas biológicos, confunden la discusión racional referente a la liberación de las plantas transgénicas y hasta han causado la prohibición de la investigación y de la evaluación de los riesgos de las plantas transgénicas en algunos países.

La percepción del público en cuanto a la inocuidad y eficacia de este tipo de alimentos tiene grandes implicaciones para el avance tecnológico. Por lo tanto deben realizarse esfuerzos para la familiarización del público con el producto con el fin de aumentar su aceptación, lo cual debe ir ligado con un registro demostrado de seguridad del producto, para reducir el rechazo que frecuentemente se presenta con la llegada de alguna innovación tecnológica.

El desarrollo de productos biotecnológicos nuevos y efectivos, que respondan a necesidades y prioridades reconocidas, representen suministros requeridos y presenten ventajas comparativas sobre productos ya disponibles, incrementa la confianza del público usuario. Un factor esencial para facilitar la familiarización y

confianza del público en relación con la investigación biotecnológica es la comunicación e información de la excelencia técnica y de las mejoras y ventajas que puede ofrecer cada innovación. ⁽¹²⁵⁾

Por otro lado, hace falta poner atención también sobre otros aspectos con el fin de aumentar la confianza en la gente que sí percibe algunos beneficios de la aplicación de esta tecnología, pero que está temerosa en otros sentidos. En particular el diseño de políticas deben permitir que los medianos y pequeños productores obtengan beneficios de esta nueva tecnología y que no se concentre todo en manos de las grandes corporaciones agrobiotecnológicas.

Las corporaciones privadas e instituciones de investigación deberían establecer acuerdos para compartir la tecnología de modificación genética que está controlada actualmente por medio de patentes y acuerdos de licencia sumamente estrictos con científicos responsables, que la utilicen para promover la seguridad alimenticia de los países en vías de desarrollo.

Hasta ahora ha habido algunos acuerdos exitosos entre algunas multinacionales y ciertos países en vías de desarrollo que han permitido transferirles tecnología. ⁽¹⁷⁷⁾ Esperemos que en el futuro se establezca un clima de colaboración entre la necesaria investigación pública y la investigación y desarrollo privada.

La investigación y desarrollo de cultivos transgénicos debe enfocarse también en que se desarrollen protocolos y reglamentos que aseguren que los cultivos transgénicos diseñados para satisfacer necesidades no alimenticias, como la producción de compuestos farmacéuticos, sustancias químicas industriales, etc.,

no se difundan o mezclen con otros cultivos alimenticios transgénicos o no transgénicos.

El marco regulatorio internacional es aún insuficiente y necesita profundizarse. El creciente avance de la producción y comercio de estos productos ha rebasado la implementación de un sistema de regulación en muchos países y a pesar de los esfuerzos realizados aún no se cuenta con regulaciones eficientes para el comercio internacional.

Se deben hacer también esfuerzos para investigar los posibles efectos ambientales, tanto positivos como negativos, de las tecnologías de plantas transgénicas en cada una de sus aplicaciones específicas, que todos los efectos ambientales de dichas plantas sean evaluados mediante una comparación con los efectos de los métodos agrícolas ordinarios que se utilizan actualmente en los lugares donde se desarrolló o sembró el cultivo transgénico y que se promueva la conservación de los recursos genéticos para la agricultura, de modo que se garantice la disponibilidad de variedades convencionales y transgénicas como germoplasma para la mejora de plantas en el futuro.

VIII.- Conclusiones

La producción y comercio de los alimentos modificados genéticamente ha generado una gran controversia a nivel mundial, ya que ofrece soluciones a muchos problemas, pero también implica riesgos que deben ser minimizados para garantizar la inocuidad de la salud y el ambiente.

El debate respecto a los productos transgénicos gira en torno al ambiente, salud y agricultura y en él participan varios agentes como productores, distribuidores, ambientalistas, consumidores, científicos y gobiernos.

La percepción de los beneficios y riesgos es diferente. Algunos países, especialmente en la Unión Europea han establecido moratorias para la producción y comercialización de algunos de estos productos, alegando que no son seguros. En cambio, en Estados Unidos estos productos son más aceptados y se impulsa su producción y comercio.

De acuerdo al análisis de la información recopilada, Se puede observar que el futuro y actual uso y desarrollo de los alimentos derivados de la tecnología del ADNr proporciona enormes beneficios y que éstos superan a los riesgos que esta tecnología pudiera acarrear. Por la información disponible a través de diferentes grupos científicos, esta nueva tecnología no supone un peligro para la humanidad siempre y cuando se actúe con responsabilidad y cautela y exista un sistema

efectivo de regulación tanto nacional como internacional, con el cual se pueda tener mayor control sobre ellos.

Los productos transgénicos no son ni se pretende que sean la solución de todos los problemas. Es prudente no perder la perspectiva de que esta es una opción más para el sector agrario, la cual no debe ser aceptada o rechazada en su totalidad sino que debe ser evaluada caso por caso para decidir si es conveniente o no su aplicación.

Es necesario que se promueva un debate serio, así como una difusión pública clara y transparente sobre los alcances y limitaciones de los productos transgénicos y en donde se reconozca las preocupaciones reales de los diferentes sectores involucrados para que pueda existir una mayor aceptación hacia ellos.

Los objetivos propuestos para este trabajo fueron cubiertos, ya que por medio de la recopilación de información referente al tema de los alimentos manipulados genéticamente para consumo humano, fue posible conocer las técnicas que se emplean para su desarrollo, cuáles son sus aplicaciones, cuáles son los riesgos y beneficios para la agricultura, salud, medio ambiente y qué problemas existen con respecto a su legislación y etiquetado. Del mismo modo, se pudo conocer las diferentes posiciones y argumentos que existen tanto en la población en general, como en la comunidad científica, los cuales han desatado el debate sobre este tema.

Finalmente, es evidente resaltar el gran vacío legislativo que prevalece todavía al término de este trabajo, a pesar de que ha habido legislaciones que los favorecen, mientras que otras los frenan. Desafortunadamente, la mezcla de proteccionismo técnico - económico, aunado a corrientes conservadoras con los temores transmitidos a los ciudadanos comunes y corrientes, ha limitado su potencial desarrollo, incluso se ha logrado transmitir a los potenciales usuarios de estos productos temores infundados. Sería injusto no reconocer las preocupaciones ecologistas, las que también deben ser consideradas y balancear el impulso de usar en forma irrestricta OGM para la elaboración de productos alimenticios o farmacéuticos.

IV.- Glosario

ADN: (Ácido Dexosirribonucleico). Polinucleótido que presenta una secuencia específica de unidades de desoxirribonucleótidos (adenina, timina, guanina, citosina) unidos covalentemente mediante enlaces 3',5'-fosfodiéster, actúa de portador de la información genética.

ADN ligasa: Enzima que crea un enlace fosfodiéster entre el extremo 3' de un segmento de ADN y el extremo 5' de otro.

ADNr : (ADN recombinante) Molécula de ADN formado por recombinación de fragmentos de ADN de genes diferentes. La proteína que codifica es una proteína recombinante. Se construye mediante la unión de un fragmento de ADN de origen diverso a un vector, como por ejemplo, un plásmido circular bacteriano. El vector se abre por un sitio específico, se le inserta entonces el fragmento de ADN de origen diverso y se cierra el círculo de nuevo. El ADN recombinante se amplifica en una célula huésped en la que puede replicarse el vector.

ADN T: Fragmento del plásmido Ti que es introducido en el genoma de la planta y codifica para enzimas que sintetizan hormonas de crecimiento.

Agrobacterium Tumefaciens: Bacteria presente en el suelo que causa la enfermedad conocida como "agalla", caracterizada por el crecimiento de tumores en los tejidos vegetales. Es el único organismo natural capaz de transformar genéticamente una célula vegetal utilizando un sistema para la transferencia e integración de genes altamente evolucionado.

Alérgeno: Una sustancia (normalmente una proteína) que provoca una reacción alérgica en personas o animales susceptibles.

Aminoácido esencial: aminoácido que no puede ser sintetizado por el hombre y deben ser obtenidos de la dieta. De los 20 aminoácidos necesarios en las

proteínas humanas, solamente son esenciales los 8 siguientes: leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina.

Aminoácido: molécula orgánica que contiene los grupos amino y carboxilo. Son los monómeros de las proteínas. De su diversidad como del enorme número de combinaciones y longitudes resulta la enorme variedad de proteínas existentes.

Antibiótico: Uno de los muchos productos orgánicos formado y secretado por diversas especies de microorganismos y plantas, son tóxicos para otras especies y tienen posiblemente una función defensiva.

Ampicilina: Antibiótico, pertenece al grupo de las Penicilinas. Su mecanismo de acción consiste en la inhibición de la síntesis de Peptidoglicano por su unión a enzimas de transpeptidación en la bacteria. Con ello se remueve un inhibidor de las enzimas autolíticas de su membrana celular, activándolas y produciendo la lisis celular.

Arabidopsis Thaliana: Planta pequeña, miembro de la familia de la mostaza (Brassicaceae), que incluye especies cultivadas tales como col y rábano. Presenta sólo cinco cromosomas y la secuenciación de su genoma, actualmente está casi completo. Debido a la gran similitud que existe entre las plantas en general, se puede usar como un análogo de cultivo de plantas. No es de gran importancia agronómica, sino que ofrece ventajas importantes para la investigación básica en genética y biología molecular.

ARN: (Acido Ribonucleico). Ácido nucleico formado por nucleótidos en los que el azúcar es ribosa, y las bases nitrogenadas son adenina, uracilo, citosina y guanina. Actúa como intermediario y complemento de las instrucciones genéticas codificadas en el ADN. El ARN es normalmente el producto de la transcripción de un molde de ADN, aunque en los retrovirus el ARN actúa de plantilla y el ADN de copia.

ARNm: (ARN mensajero) Molécula de ARN complementaria a una cadena de ADN. Es portador del mensaje genético desde el cromosoma a los ribosomas.

Autorradiografía: Detección de un radioisótopo de una muestra, se logra al ponerlo en contacto con una emulsión fotográfica. La radiación expone la película, revelando los detalles de la localización de los componentes radiactivos. En ingeniería genética se utiliza con frecuencia para detectar la hibridación de una sonda radiactiva con el ADN, como por ejemplo, durante la hibridación con colonias.

Bacteriófago: Virus capaz de replicarse en una célula bacteriana.

Bioseguridad: Las políticas y procedimientos adoptados para garantizar la segura aplicación de la biotecnología en salud y ambiente. Se aplica principalmente al uso seguro de organismos transgénicos.

Biología Molecular: Parte de la biología que trata de los fenómenos biológicos a nivel molecular. En sentido restringido comprende la interpretación de dichos fenómenos sobre la base de la participación de las biomoléculas proteínas y ácidos nucleicos.

Biotecnología: Conjunto de innovaciones tecnológicas que se basa en la utilización de microorganismos y procesos microbiológicos para la obtención de bienes y servicios y para el desarrollo e actividades científicas de investigación.

Bt: Iniciales de *Bacillus thuringensis*, bacteria natural del suelo utilizada desde hace mucho tiempo como insecticida. Algunos genes insecticidas de esta especie son aislados y transferidos por la técnica de biología molecular en el genoma de especies vegetales de grandes cultivos.

Cepa: En microbiología, conjunto de virus, bacterias u hongos que tienen el mismo patrimonio genético.

Clonación celular: Proceso de multiplicación de células genéticamente idénticas, a partir de una sola célula.

Clonación de gen: Técnica que consiste en multiplicar un fragmento de ADN recombinante en una célula-huésped (generalmente una bacteria o una levadura) y aislar luego las copias de ADN así obtenidas.

Cósmido: Vector de clonado usado para clonar grandes fragmentos de ADN, generalmente contiene segmentos provenientes de bacteriófagos y diversos plásmidos.

Cromatografía: proceso por el que se separan mezclas complejas de moléculas mediante múltiples particiones entre una fase fluida (móvil) y una estacionaria.

Cromatografía líquida de alta resolución: Procedimientos cromatográficos, a menudo realizados a presiones relativamente altas, utilizando un equipo automático que permite la obtención de perfiles refinados y muy reproducibles.

Cromosoma: Corpúsculo intracelular alargado que consta de ADN, asociado con proteínas, y constituido por una serie lineal de unidades funcionales conocidas como genes. Almacena y transmite información genética.

Electroforesis: Movimiento de solutos cargados en respuesta a un campo eléctrico; se utiliza con frecuencia para separar mezclas de iones, proteínas o ácidos nucleicos.

Electroforesis en gel de agarosa: Una matriz compuesta por agar altamente purificado que se usa para separar moléculas de ADN y RNA.

Enzima: Catalizador biológico, normalmente una proteína, que media y promueve un proceso químico sin ser ella misma alterada o destruida. Son catalizadores extremadamente eficientes y muy específicamente vinculados a reacciones particulares.

Enzimas de restricción: Enzimas bacterianas sintetizadas como reacción defensiva frente a la invasión de ADN extraño, como, por ejemplo, bacteriófagos ADN, a los que degrada mientras que el propio está protegido por metilaciones específicas. Cada una de estas enzimas escinden el ADN siempre en el mismo sitio, en lugares específicos o secuencias diana. Son las tijeras de la ingeniería genética que abrieron las puertas a la manipulación genética.

Escherichia coli: Bacteria común que se encuentra en el intestino delgado de los vertebrados, es el organismo mejor estudiado.

Eucariota: Organismo uni o multicelular con células que tienen un núcleo rodeado por membrana, múltiples cromosomas y orgánulos internos.

Fago (Bacteriófago): Virus capaz de replicarse en una célula bacteriana.

Fenotipo: Conjunto de manifestaciones del orden físico del genotipo.

Fermentación: Conversión biológica anaeróbica (sin oxígeno) de las moléculas orgánicas, generalmente hidratos de carbono, en alcohol, ácido láctico y gases, mediante la acción de ciertos enzimas que actúan bien directamente o como componentes de ciertas bacterias y levaduras.

Gen: Unidad física y funcional del material hereditario que determina un carácter del individuo y que se transmite de generación en generación. Su base material la constituye una porción de cromosoma que codifica la información mediante secuencias de ADN.

Genética: Ciencia que trata de la reproducción, herencia, variación y del conjunto de fenómenos y problemas relativos a la descendencia.

Genoma: Toda la información genética en forma codificada contenida en una célula o virus.

Genotipo: Constitución genética, de uno o más genes, de un organismo en relación a un rasgo hereditario específico o a un conjunto de ellos.

Hereditario: Que se transmite de generación en generación.

Hibridación: Proceso de generación de una molécula, célula u organismo combinado con material genético procedente de organismos diferentes.

Híbrido: Individuo resultante del cruce entre parientes genéticamente diferentes pero pertenecientes a la misma especie, sea de las especies, o incluso de géneros diferentes. Los híbridos son, en general, estériles.

HPLC: Ver cromatografía líquida de alta resolución.

Inocuidad de los alimentos: La aptitud que posee un alimento para el consumo humano sin causar algún daño.

Ingeniería genética: Se trata de un conjunto de técnicas modernas que permiten la manipulación específica de la información genética de los seres vivos. Esta técnica básicamente consiste en la separación de un gen específico de su cromosoma para después insertarlo en una pequeña molécula portadora de ADN (vehículo genético) de modo que tras su introducción en un organismo hospedero, el ADN híbrido se pueda multiplicar y expresar.

In vitro: En el tubo de ensaye.

Kanamicina: Un antibiótico de la familia de los aminoglucósidos que puede interferir con los procesos celulares de traducción mediante enlace con los ribosomas. La resistencia específica a este antibiótico es un sistema de marcador de selección usado frecuentemente en células transgénicas.

Librería de ADN: Colección de los fragmentos derivados del genoma de un organismo determinado insertados uno por uno, en un vector de clonación, los cuales son introducidos en bacterias o bacteriófagos. El resultado final es una gran

población de bacterias, siendo cada una de ellas portadora de una molécula de ADN recombinante diferente.

Marcador molecular: Gen complementario que permite una selección precoz de plantas transgénicas, transferido al mismo tiempo que el gen en cuestión. Permite a los biólogos moleculares asegurarse que el gen transferido, esté bien integrado al genoma.

Microinyección: Técnica que permite introducir en una célula un gen en solución, gracias a una micropipeta y bajo microscopio.

Micropropagación: Término usado para la propagación *in vitro* de las plantas.

Nucleósido: Compuesto formado por una base púrica o pirimídica unida covalentemente a una pentosa.

Nucleótido: Nucleósido fosforilado en uno de los grupos hidroxilo de su pentosa.

OGM: Organismo que tiene integrado a su material genético una fracción de ADN de otro organismo. Por lo tanto, el OGM contiene una nueva pieza de ADN, lo que lo hace diferente de su contraparte convencional. La nueva pieza de ADN contiene uno o varios genes que tienen la capacidad de manifestarse en el nuevo organismo, determinando la producción específica de nuevas proteínas. Esto sugiere la ganancia de una nueva función o rasgo por parte del organismo transgénico.

Operador: Segmento especial del DNA adyacente al promotor que forma parte de la región controladora de la transcripción de un operón. El operador interacciona con la proteína represora regulando de esta manera el proceso de la transcripción sincronizada del operón correspondiente.

Organismo hospedero: Organismo al cual se transfieren los genes provenientes del organismo donador.

Plásmido: Fragmento circular de ADN bicatenario que contienen unos cuantos genes y se encuentran en el interior de ciertas bacterias. Actúan y se replican de forma independiente al ADN bacteriano y pueden pasar de unas bacterias a otras.. Se utilizan como vectores en manipulación genética.

Plásmido Ti: Plásmido inductor de tumores presente en la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* que contiene los genes vir y una porción de genes llamado ADN T.

Procariota: Bacteria, organismo unicelular con un único cromosoma, sin cubierta nuclear ni orgánulos rodeados por membranas.

Protoplastos: Células vegetales a las que se les ha despojado de su pared celular por acción de enzimas celulasas y pectinasas.

Replicación del ADN: Síntesis de una molécula dúplex de ADN hija idéntica al dúplex de ADN parental.

Sonda radiactiva: Fragmento de ácido nucleico marcado radiactivamente que contiene una secuencia nucleotídica complementaria a un gen o secuencia genómica que uno desea detectar en un experimento de hibridación.

Tecnología del ADN recombinante: Ver Ingeniería Genética.

Tetraciclina: Antibiótico, tiene actividad contra una gran variedad de gérmenes gram + y gram - espiroquetas, rickettsias, ciertos protozoos y grandes virus. Su amplio espectro antimicrobiano lo indica como terapéutica de elección en todos los procesos infecciosos, aumentando las defensas del organismo infectado y acelerando la cicatrización de heridas.

Traducción: Proceso en el que la información genética presente en una molécula de ARNm especifica la secuencia de aminoácidos durante la síntesis de proteínas.

Transcripción: Proceso enzimático mediante el que la información genética contenida en una hebra de ADN se utiliza para especificar una secuencia de bases complementaria en una cadena de ARNm

Transformación: Introducción de un ADN exógeno en una célula que hace que la célula adquiera un nuevo fenotipo.

Transgénico (organismo): Un organismo (animal, vegetal o microorganismo) en el cual un gen foráneo (transgen) o una secuencia de ADN foránea ha sido incorporada a su genoma.

Vector: Portador, que transfiere un agente de un huésped a otro. Sistema que permite la transferencia, la expresión y la replicación de un ADN extraño en células huésped para una posterior clonación. Puede ser un plásmido o un ADN de fago.

Virus: Complejo de ácido nucléico-proteína autorreplicante e infeccioso que requiere una célula huésped para su replicación. Puede sobrevivir extracelularmente. Su genoma puede ser ADN o ARN envuelto por una cubierta proteica llamada cápside.

IX.- Bibliografía

1. Douzou P. (1996) "Las biotecnologías", Fondo de cultura económica, México. p.9
2. Murrel J.C., Roberts L.M. (1998) "Introducción a la Ingeniería Genética", Limusa, 2ª ed., México. p.8
3. Glosario <http://www.genewatch.org/GeneSrch/Default.htm>
4. Iañez Pareja, E. (1997) Curso de doctorado "Biotecnología y sociedad" <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnología/sumario.htm>
5. IFT expert report on biotechnology and foods, Human food safety evaluation of rDNA biotechnology-derived foods (2000). Food Technology 54:124-126
6. Hélene, C. (1984). Las estructuras del ADN. Mundo Científico pp. 742-755
7. Foro Virtual Simbiosis "Etiquetado de Alimentos Transgénicos" (2000) <http://www.simbiosis.unam.mx/transgenicos/2oForo.htm>
8. Lehninger A., Nelson D., Cox M. (1993) "Principios de bioquímica", Omega, 2ª ed., España. pp. 986-1005
9. Smith Jeremy (2001). "Gene Gun Blazes Away in Biotech" <http://www.agbioworld.org/listarchive/list.php>
10. "A Shot in the Dark" (2001) <http://www.technologyreview.com/articles/trailing1201.asp>
11. Elementos de ingeniería genética. <http://www.inia.cl/~mmera/inggen.htm>
12. Herbicides section. <http://www.monsanto.com/monsanto/biotechnology/backgroundinformation>.
13. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application (2000) http://www.isaaa.org/publications/briefs/Brief_24.htm
14. Alternativas al uso de fungicidas. <http://www.terralia.com/revista21/pagina35.asp>
15. The American Phytopathological Society (2000) "Transgenic resistant papaya: New hope for controlling papaya ringspot virus in Hawaii" <http://www.apsnet.org/education/feature/papaya/Top.htm>
16. "Icrisat desarrolla cacahuete resistente al virus" (2000) <http://www.agrobiomexico.org.mx/03fuentesdeinfo/03boletines/080302.htm>

17. "Scientists complete peanut molecular map" (2000)
http://agweb.com/news_show_news_article.asp
18. Persley G. J. (1999) "Aplicaciones de la Biotecnología a los Cultivos: Beneficios y Riesgos" http://www.agbioworld.org/biotech_info/articles/ensayo.html
19. "Golden rice: Proof of concept and beyond. Seeds of Health" (2001)
http://www.agbios.com/_NewsItem.
20. "Golden Rice: What role could it play in alleviation of vitamin A deficiency?" (2001)
<http://www.economia.uniroma2.it/conferenze/icabr/nontechabstract20>
21. Fumiyuki G. y cols.(1999) "Iron fortification of rice seed by thesoybean ferritin gene"
Nature Biotech. 17:282-284
22. Biotechnology issues. "Modification of fatty acids composition". (2001)
<http://www.usis.usemb.se/biotech/oilseedrape.html>
23. Biotechnology issues. "Potatoes with a modified starch composition" (2001)
<http://www.usis.usemb.se/biotech/potatoes.html>
24. "Plant gene could make crops more drought resistant" (2001) <http://www.ilsil.mexico.org>
25. Carbonell W. J., Infante D. (1996) "Oportunidades y desaffos de la biotecnología para la agricultura y agroindustria de América Latina y el Caribe" Washington, D.C
<http://www.iadb.org/sds/doc/env-105s.pdf>
26. H. Zhang, E. Blumwald. (2000) "Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit," Nature Genetics, 19:765-70
27. Wolf U.(1999) "Taking transgenic plants with a pinch of salt." Science, 285:1222-1223
28. Plant biotechnology: Food and feed news.(1999) "Engineering Plants to cope with metals" Science, 285: 369-370.
29. "Super rice to double grain yield by 2008" (2000) [http:// www.just-food.com](http://www.just-food.com)
30. "Identificado el gen que produce plantas enanas de alto rendimiento"(1999)
<http://www.monsanto.es/noticias/julio99/pais/16julio.html>

31. Secretaría de Salud. (2000) Productos Biotecnológicos para consumo humano que se han evaluado y aceptado para su comercialización en México.
<http://www.ssa.gob.mx/unidades/dirqcsbs/informacion/biotec.htm>
32. "Plant based vaccines" (2000) <http://www.agbioworld.org/listarchive/list.php>
33. "An AIDS vaccine could soon be available thanks to biotechnology" (2000)
<http://www.biotechandyou.com/issue04/04.asp>
34. Gómez Lim M. A. (2001) "Producción de vacunas y compuestos farmacéuticos en plantas transgénicas" <http://www.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/novdic/miquel.pdf>
35. "Team grows cancer-fighting tomato: Engineered variety is three times as rich in antioxidants"(2001) <http://www.comet.sparklist.com/scripts/lvris.pl?visit=agbioview>
36. "Científicos desarrollan jitomates con valor añadido." (2002)
<http://www.agrobiomexico.org.mx/03fuentesdeinfo/03boletines/280602.htm>
37. "Productores agrícolas mexicanos se benefician del algodón modificado genéticamente"(2001)
<http://www.agrobiomexico.org.mx/03fuentesdeinfo/03boletines/310801.htm>
38. Gianessi, L. P., Carpenter Janet E. (1999). Agricultural Biotechnology. " Insect Control Benefits" <http://www.biotech-info.net/bt-transgenics.html>
39. "El maíz mejorado por la biotecnología ha demostrado tener mucho éxito en el control de plagas agrícolas" (1999) <http://www.betterfoods.org/espanol/espanol.htm>
40. Gianessi, L. P., Carpenter Janet E. (1999) "Herbicide Tolerant Soybeans: Why Growers Are Adopting Roundup Ready Varieties". <http://www.agbioforum.missouri.edu>
41. "Los vegetales manipulados genéticamente reducen el uso de insecticida en un 80%" (1999) <http://www.monsanto.es/noticias/julio99.html>
42. "Genetically altered cotton transforms farming in S. Africa" (2001)
<http://www.agbioworld.org/listarchive/list.php>
43. Genetically modified organisms, a backgrounder by the Institute of Food Technologists. Food Technology. (2000) 54:42-43.

44. "GMO proponent reports increased corn yield" (2001). <http://www.lom.cl>
45. "Increase in biotech crops" USDA report" (2001)
<http://www.lifesciencesnetwork.com/news-detail.asp?newsID=1587>
46. La FAO apuesta por la biotecnología como herramienta de desarrollo
<http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/004/Y6948s.HTM>
47. "El jitomate modificado genéticamente crece en agua salada"
<http://www.agrobiomexico.org.mx/03fuentesdeinfo/03boletines/170801.htm>
48. Munkvold, G. P., Hellmich, R. L., Rice, L. G. (1999). "Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and nontransgenic hybrids." Plant Dis. 83:130- 138.
49. "El maíz Bt y las micotoxinas"(2000)
<http://www.monsanto.es/noticias/mayo2000/agro4mayo.html>
50. El maíz que contiene "Bt" tiene menos daño causado por insectos y hongos" (2000)
<http://www.monsanto.es/noticias/abril2000/usda25abril.html>
51. Xudong Ye, (2000). "Engineering the provitamin A (β - Carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid- free) rice endosperm", Science, 287:303-304.
52. ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application) (2001)
http://www.isaaa.org/publications/briefs/Brief_24.htm
53. "Se estudia el potencial del "arroz dorado" para combatir la falta de vitamina A en los países en desarrollo" (2001).
http://www.monsanto.es/noticias/enero01/01ene24_neptuno.html
54. Plant biotechnology booming in China, study finds. (1998)
<http://www.agbioworld.org/listarchive/list.php>
55. "Why I grow genetically engineered crops" (2001) www.foodsafetynetwork.ca
56. GM food: good for the Earth and our future (2001)
<http://www.nationalpost.com/search/site/story.asp?id=65BCE29E-BC6A-43AD>

57. Glyphosate Ecological Effects (1999)
http://www.monsanto.com/monsanto/biotechnology/background_information/99jan15_glyph2.html
58. Gustafson David I. (2002). "Biotechnology insight: How biotech crops protect water quality" <http://www.isb.vt.edu/news/2002/news02.jul.html#jul0204>
59. "Los cultivos genéticamente modificados (GM) reducen el uso de pesticidas" (2001)
<http://www.medvet.umontreal.ca/biblio/v11n1.htm>
60. "Estudio británico dice que los OGMs reducen el uso de pesticidas" (2002)
http://www.monsanto.es/noticias/mayo02/02mayo01_efeagro.html
61. "El uso del maíz Bt reduce el uso de insecticidas" (1999)
<http://www.monsanto.es/noticias/noviembre99/agrodigital23nov.html>
62. "Insect-resistant Bt cotton benefits environment, says Chinese study" (2002)
http://www.soya_tech.com/bluebook/news/viewarticle.ldml?a=20020703-6
63. Secretaría del CORECA (Consejo Regional de Cooperación Agrícola) (2000)
"Producción y Comercialización de Productos Transgénicos"
<http://www.licasaninet.net/pub/sanveg/pdf/transgenicos.pdf>
64. "Impacto económico de los OMG en la agricultura norteamericana" (2001)
<http://www.ncfap.org/40CaseStudies.htm>
65. "U.S. farmers planted more biotech crops in 2002" (2002)
<http://www.soyatech.com/bluebook/news/viewarticle.ldml?a=20020703-5>
66. "Productores agrícolas mexicanos se benefician del algodón modificado genéticamente" (2001)
<http://www.agrobiomexico.org.mx/03fuentesdeinfo/03boletines/310801.htm>
67. "Enzymes produced by genetically modified microorganisms"
<http://www.usis.usemb.se/biotech/enzymes.htm>
68. "Plantas transgénicas y agricultura mundial", Informe de las siete academias de ciencias. (2000) <http://www.royalsoc.ac.uk>
69. "Cultivos modificados genéticamente, comercio internacional y seguridad alimentaria". Un documento de Oxfam (1999) <http://www.intermon.org/docs/alimentos.pdf>

70. "Are Bioengineered Foods Safe?", FDA Consumer Magazine (2000)
<http://www.fda.gov>
71. Donaldson L. (1999) "Health implications of genetically modified foods"
72. "Safety aspects of genetically modified foods of plant origin", (2000) Informe de una consulta conjunta a expertos de la FAO/ OMS
73. "Does the world need GM foods?", Entrevista a Robert B. Horsch. Scientific American (2001)
74. "L-Triptófano y Síndrome de Eosinofilia-Miaglia" Centers for disease control and prevention Case Study -- EIS Course (1996)
http://www.cisat.isciii.es/ea/pdf/ea_ems.pdf
75. Smith Ch. (2000) "An assessment of the benefits, safety and oversight of plant genomics and agricultural biotechnology"
76. Iáñez Pareja E. (2000) "Posibles impactos genéticos y ecológicos de las plantas cultivadas tradicionales" <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/ecotrad.htm>
77. Iáñez Pareja E. (2000) "Biotecnología ética y sociedad"
<http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/impact.htm>
78. Ellstrand Norman C. (2000) "Evaluación de los riesgos del flujo genético transgénico de los cultivos a las especies silvestres"
http://www.cimmyt.org/ABC/geneflow_pdf_spa_/FG-Evaluacion.pdf.
79. Kathen, A. (1999) "El impacto de la introducción de cultivos transgénicos en la diversidad biológica de los países en desarrollo"
<http://www.biotech-monitor.nl/s22805.htm>
80. Realidades del maíz transgénico (2002)
<http://www.invdes.com.mx/suplemento/anteriores/Abril2002/htm/maiz.html>
81. CINVESTAV Unidad Irapuato (2001) "Mexican Gov't statement on transgenic maize"
<http://www.ira.cinvestav.mx>
82. Martínez Soriano J. P., Leal-Klevezas D. (2000) "Transgenic Maize in Mexico: No Need for Concern". Science 2000:1399
<http://www.sciencemaq.org/content/vol287/issue5457/index.shtml>
83. Parrott W. (2002) "Contaminated corn crop". Department of crop and soil science, University of Georgia. <http://www.cropsoil.uga.edu/parrottlab>

84. McHughen A.(2002) "¿Se encuentra amenazada la biodiversidad en México?"
<http://www.ucnewswire.org/spanish/071802maiz.htm>
85. Sánchez J., Ruiz J.A (2000) "Distribución del teocinte en México" Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)
http://www.cimmyt.cgiar/ABC/geneflow/geneflow_pdf_FG-PregRespPag39pdf
- 86.T.Hallberg.(2001) "Bioseguridad y conservación de la diversidad genética"
<http://www.mesoamerica.org.mx/maiz/168.txt>
- 87.Quist D, Chapela I.(2001) "Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico". Nature 414:541-543
- 88."CIMMYT response to discovery of transgenic maize growing in Mexico" (2001)
<http://www.cimmyt.org>
- 89.Enciso A. (2002) "Estudios de SEMARNAT confirman la presencia de maíz transgénico en milpas de Oaxaca y Puebla" La Jornada, México, 24-1-02
<http://www.jornada.unam.mx/2002/ene02/020124/047n1soc.php?origen=index.htm>
- 90.Hodgson J. (2002) "Persisten dudas sobre el análisis de maíz mexicano"
<http://www.mesoamerica.org.mx/maiz/205.txt>
91. Editorial Note (2002) "Suspect evidence of transgenic contamination" Nature. 416:600
92. Peregina K.(2000) "Chapela el activista"
http://www.amc.unam.mx/Agencia_de_Noticias/Notas_Cientificas/nc_13teconfint.html
93. Martínez Soriano J.P. (2002) "Taller de reflexión sobre los efectos del maíz transgénico en México" <http://www.mesoamerica.org.mx/maiz/227.txt>
94. Losey, J.E., Rayor L.S., Carter M.. (1999) "Transgenic pollen harms Monarch Larvae." Nature, p.214 <http://www.biotech-info.net/transpollen.html>
95. Hansen, L., Obricki J.. (2000) "Non-target effects of Bt corn pollen on the Monarch butterfly (Lepidoptera: Danaidae)" Abstract of a poster presented at the North Central Branch meeting of the Entomological Society of America.
<http://www.ent.iastate.edu/entsoc/ncb99/prog/abs/D81.html>
96. Iáñez Pareja E. (1999) "Mariposa monarca y plantas BT"
<http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/monarca.htm>
97. Pleasants John M. (2001) "Corn pollen deposition on milkweeds in and near cornfields" Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98:11919-11924
<http://www.pnas.org/cgi/content/full/211287498v1>

98. Williams M. A (2000) "Cultivos y alimentos genéticamente modificados" http://www.agbioworld.org/biotech_info/articles/resumen.html
99. Stanley Horn D. E. (2001) "Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies" Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98: 931-11936 <http://www.pnas.org/cgi/content/full/211277798v1>
100. Oberhauser Karen S. (2001) "Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen" Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98: 11913-11918 <http://www.pnas.org/cgi/content/full/211234298v1>
101. Sears Mark K. (2001) "Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment" Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98:11937-11942 <http://www.pnas.org/cgi/content/full/211329998v1>
102. Hellmich Richard L. (2001) "Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-purified proteins and pollen" Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98: 11925-11930 <http://www.pnas.org/cgi/content/full/211297698v1>
103. Minors P. V (2001) "The hot and the classic: The Monarch Butterfly controversy" Plant Physiology 127: 709-710 <http://www.plantphysiol.org/cgi/content/full/127/3/709>
104. Balbás P., Lorence A. (2002) "La mariposa monarca: la reina de corazones descartada" <http://www.agrobiomexico.org.mx/03fuentesdeinfo/03boletines/180102.htm>
105. Pacheco H. R, Vega O. (2001) "La controversia de la mariposa Monarca: Un análisis a la luz de las teorías sociales del riesgo" <http://www.raulpacheco.homestead.com/files/PACHECO.PDF>
106. Dr. Ramón A. Presentación del caso del algodón: "Impacto de Algodón Bollgard en el control de plagas y beneficios económicos en el Noroeste de México".. Cinco Castro Algodonera de Baja California, S.A. de C.V. http://www.agrobiomexico.org/08doctos/05salaprensadoctos/Ramon_Cinco.doc
107. "La Biotecnología, suma de beneficios constantes" (2002) http://www.amc.unam.mx/Agencia_de_Noticias/Notas_Cientificas/nc_28kpo-biotecnologia2.html
108. Korwek E. (2000) "Labeling biotech foods: Opening Pandora's box?" Foodtechnology 54: 38-39
109. Miller H. (1999) "A rational approach to labeling biotech-derived foods" Science 284: 1471-1472

110. Fora G.C. El sistema de regulación de los transgénicos en Estados Unidos Institute for Agriculture and Trade Policy (2001) <http://www.iatp.org>
111. Mota M. (2000) "Novel foods and food ingredients: what is the mission of scientists and technologists? Trends in Food Science and technology 11: 165-166
112. "European biotech slams labeling rules" (2002)
<http://www.foodnavigator.com/news/news.asp>
113. "La Biotecnología, suma de beneficios constantes" (2002)
http://www.amc.unam.mx/Agencia_de_Noticias/Notas_Cientificas/nc_28kpo-biotecnologia2.html
114. Ibarra S. (2001) "Normatividad relacionada con bioseguridad y organismos genéticamente modificados"
http://www.agrobiomexico.org/03fuentesdeinfo/03boletines/140901.htm#_Normatividad_relacionada_con
115. Protocolo de Bioseguridad. Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión (2002)
<http://www.cddhcu.gob.mx/cronicas57/contenido/cont13/anali6.htm>
116. Massieu Trigo Y.C. (2001) "Bioseguridad: la regulación urgente"
<http://www.jornada.unam.mx/2001/ene01/010122/cien-trigo.htm>
117. Ibarra S. (2002) "Efectos jurídicos del Protocolo de Cartagena"
<http://www.agrobiomexico.org/03fuentesdeinfo/03boletines/170502.htm>
118. Barba Navarrete A. (2002) "Tipifican como delito la práctica de la ingeniería genética" <http://www.ibt.unam.mx/biblioteca/reforma1.pdf>
119. Ibarra S. (2001) "Los controversiales organismos genéticamente modificados"
<http://www.inydes.com.mx/suplemento/antecedentes/Septiembre2001/htm/ogms.html>
120. Oropeza K. (2002) "La Biotecnología, suma de beneficios constantes"
http://www.amc.unam.mx/Agencia_de_Noticias/Notas_Cientificas/nc_28kpo-biotecnologia2.html
121. "Full GM separation may double prices" (2001)
<http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm/newsid/13466/story.htm>
122. El etiquetado de los GMOs podría disminuir la seguridad alimentaria
<http://www.agrobiomexico.org/03fuentesdeinfo/03boletines/140901.htm>
123. IFT expert report on biotechnology and foods. Labeling of rDNA biotechnology-derived foods. (2000) Foodtechnology 54: 64-65

124. Taco Terrorism (2000) <http://www.foxnews.com>
125. Izquierdo J. (2000) "Los cultivos transgénicos y la seguridad alimentaria" <http://www.flc.fao.org/opinion/anterior/2000/izquierdo.htm>
126. ¿Qué es el Codex Alimentarius? http://www.europa.eu.int/comm/food/fs/ifsi/eupositions/tffb/tffb/01_es.htm
127. Comisión del Codex Alimentarius. Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. "Examen del anteproyecto de directrices para la realización de la evaluación de la inocuidad de los alimentos derivados de plantas obtenidas por medios biotecnológicos modernos." En el trámite 4. 2ª Reunión. Chiba, Japón, marzo 2001.
128. Comisión del Codex Alimentarius. Programa Conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. "Examen del anteproyecto de principios para el análisis de riesgos sobre alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos". En el trámite 4. 2ª Reunión. Chiba, Japón, marzo 2001.
129. Rivas H. (2002) "Regulación jurídica de los organismos modificados genéticamente de consumo humano", Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
130. Iniciativa de ley de investigación, desarrollo biotecnológico y bioseguridad. http://www.amc.unam.mx/Agencia_de_Noticias/agencia.htm
131. Castresana Sáez J., "Importancia del descubrimiento de Watson y Crick en el desarrollo de la ciencia del siglo XX " <http://abioquimica1.galeon.com/recombinante.html>
132. OMG de interés para los intermediarios en la cadena de suministro de alimentos: tomates Flavr Savr <http://www.fao.org/DOCREP/003/X9602S/x9602s05.htm>
133. Productos Transgénicos del Futuro http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/sp_future.html
134. Transgenics for a Better Tomato <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/sep00/tomato0900.htm>

135. Los cultivos transgénicos en México. <http://www.laneta.apc.org/emis/jornada/nov-dic99/cultivos.htm>
135. Aprobada la iniciativa de Ley de Bioseguridad por el Senado Mexicano (25 de abril 2003) <http://www.whybiotech.com/mexico.asp?id=2942>