

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

“MAÍZ TRANSGÉNICO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICA

PRESENTA:

KARLA PAOLA HERNÁNDEZ PÉREZ

ASESORA:

DRA. GILDA FLORES ROSALES

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

INDICE GENERAL	Pág.
Índice de imágenes	3
Índice de tablas	4
Objetivo	5
Capítulo I. ANTECEDENTES	6
I.1 Nombre científico del maíz	6
I.2 Conformación y tipos	7
I.3 Historia del maíz	15
I.4 Importancia social	17
I.5 Uso y aprovechamiento del maíz	18
I.6 Nutrientes	19
I.7 Producción y distribución	22
I.8 Consumo	27
I.9 Gastronomía	28
I.10 Tradición y cultura	30
I.11 Enemigos del maíz	33
I.12 Maíz híbrido	34
Capítulo II. TRANSGÉNICOS	40
II. 1 Definición	40
II. 2 Biotecnología	43
II. 3 Técnicas	48
II. 4 Innovación en materia alimenticia	50
II. 5 Ventajas	54
II. 6 Efectos no deseados y riesgos	59
II. 7 Poder comercial	62
II. 8 Legislación	64
II. 9 Puntos de vista éticos y sociales	67
Capítulo III. GÉNETICA DEL MAÍZ	70
III. 1 Evolución del teozintle hacia el maíz	70
III. 2 Mutaciones en el maíz	75
III. 3 Genes móviles	78

III. 4 La Ingeniería genética sobre la estructura genómica del maíz	84
III. 5 Genes modificados	93
Capítulo IV. MAÍZ TRANSGÉNICO	105
IV. 1 Variedades	105
IV. 2 Lugares de cultivo	111
IV. 3 Empresas que lo producen	115
IV. 4 Consecuencias en la biodiversidad	121
IV. 5 Impacto socioeconómico	125
IV. 6 Secuelas en la salud humana	129
Capítulo V. CULTIVOS EN MÉXICO	137
V. 1 Daños y beneficios en especies nativas de maíz	137
V. 2 Sistemas de transformación de plantas transgénicas	142
V. 3 Impacto en la biodiversidad de México	150
V. 4 Programas de investigación	155
V. 5 Beneficios y consecuencias en la economía de México	160
V. 6 ¿Qué papel juega el Gobierno mexicano?	164
Capítulo VI. ANÁLISIS DE LA REALIDAD	171
VI. 1 Debate público	171
VI. 2 Opinión de especialistas	174
VI. 3 Polémica actual	186
VI. 4 Derechos del consumidor	189
Discusión	193
Conclusión	196
Referencias bibliográficas	197
Glosario	214

Índice de imágenes	Pág.
1. Planta de Maíz	6
2. Conformación de la planta de Maíz	8
3. Corte longitudinal del grano de Maíz	10
4. Partes de la semilla de Maíz	11
5. Granos de maíz dentado	12
6. Variedades más comunes de maíz	14
7. Aplicaciones del maíz en la gastronomía	29
8. Centéotl, Dios del Maíz	31
9. Maíz afectado por el medio y beneficiado por el hombre	39
10. Inserción de la bacteria <i>Agrobacterium tumefaciens</i> en una planta	46
11. Bacteria <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	49
12. Transformación y mejoramiento de algunos vegetales	56
13. Mazorcas de maíz de diversas razas	70
14. Comparación de la evolución del teozintle al maíz moderno	71
15. Razas de maíz en México	75
16. Proporción 9:7	76
17. La Bióloga Bárbara McClintock	79
18. Mutaciones en el maíz	80
19. Maíz transgénico Bt	84
20. Inserción de la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	86
21. Bacteria (Bt)	87
22. Grano de Maíz	94
23. Características fenotípicas asociadas con el locus C	95
24. Familias de elementos controladores del maíz	97
25. Elementos Ds	98
26. Roturas y reordenaciones cromosómicas	99
27. Clones genómicos que contiene mutaciones Ac y Ds	100
28. Clones genómicos que contiene el gen <i>Adh1</i>	101
29. Estructura del elemento transponible Ac del maíz	102
30. Inserciones complejas de elementos Ds	104

31. El maíz transgénico desarrollado para ser resistente a herbicidas	105
32. Centros de origen	112
33. Patentes agrobiotecnológicas	120
34. A cinco años que se descubrió la contaminación transgénica el maíz	122
35. Se exige análisis exhaustivo	123
36. A pesar de lo que afirman las transnacionales	126
37. La biotecnología es una gran promesa	135
38. Variedad de maíz transgénico con propiedad insecticida	139
39. Testimonios de algunos productores	172
40. Empresas dedicadas al desarrollo de productos transgénicos	174
41. Países productores de Transgénicos	189
42. Consumidores alrededor del mundo	190

Índice de tablas

-TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MAÍZ	21
-TABLA 2. VALOR NUTRICIONAL DE LAS SEMILLAS DE MAÍZ DULCE	22
-TABLA 3. PRODUCCIÓN MUNDIAL Y DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL MAÍZ	24
-TABLA 4. ALGUNAS MUTACIONES DEL MAÍZ DE UTILIDAD EXPERIMENTAL	95
-TABLA 5. ALGUNAS DE LAS NUEVAS VARIEDADES DE MAÍZ TRANSGÉNICO	105
-TABLA 6. LIBERACIONES DE OMG EN AÑOS RECIENTES	108
-TABLA 7. LAS 10 MAYORES EMPRESAS DE AGROQUÍMICOS EN EL MUNDO	118
-TABLA 8. CORPORACIONES LÍDERES EN SEMILLAS A NIVEL MUNDIAL	118
-TABLA 9. LAS 10 MAYORES FARMACÉUTICAS A ESCALA MUNDIAL	119
-TABLA 10. CATEGORIAS PRODUCTOS DE LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA	147

OBJETIVO

Analizar los orígenes del maíz, dar seguimiento a los pasos evolutivos de la planta y entender el empleo de la modificación genética conociendo los beneficios y/o desventajas que presentan los cambios estructurales en ella desde el punto de vista alimenticio, cultural, económico, químico, político, industrial, agronómico y social; para comprender el impacto que se observa en la época actual del uso de transgénicos y conocer si los avances científicos y tecnológicos beneficiarán y solucionarán problemas específicos en la actualidad.

ANTECEDENTES

I.1 Nombre científico

El maíz, elote, choclo o *Zea mays* es una gramínea anual originaria de México introducida en Europa en el siglo XVI (Figura 1).

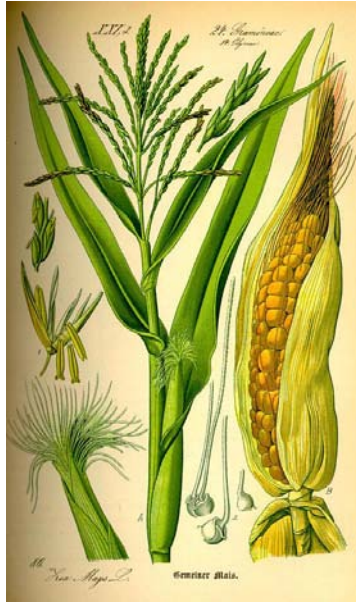


Figura 1. Planta de Maíz (*Zea Mays*)

Tomado de Stueber, 2007. www.biolib.de.

Pertenece al reino Plantae, clase Liliopsida, subclase Commelinidae, división Magnoliophyta, orden Poales, familia Poaceae, subfamilia Panicoideae, tribu Andropogoneae y genero *Zea* (derivada del griego *zeo* = *vivir*).

Esta planta es conocida con el nombre común de maíz, derivado de la palabra taína mahís con que los indígenas del Caribe la denominaban. Dependiendo de la región, *Zea mays* recibe también en español nombres como oroña, danza, zara, millo, mijo o panizo. En México, las mazorcas maduras, pero frescas reciben el nombre de elote que viene del nombre náhuatl elotl, mismas que en Sudamérica y otros países del área sudamericana reciben el nombre de choclo (del quechua chujllu) y en Venezuela el nombre de jojoto. El nombre nahuatl del maíz, tlayoli, todavía es de uso común en el estado de Oaxaca y se le encuentra atado a numerosos mitos y leyendas autóctonas. En el Perú y Bolivia, lo llaman sara en quechua como en la época de los Incas. En

Canarias se le denomina millo, palabra tomada del portugués (milho) y a la mazorca de maíz se le denomina piña de millo.

El maíz tiene dos parientes cercanos que son el tripsacum y el teozintle. El tripsacum crece silvestre en las regiones este y sureste de USA y en América Central y del Sur. Se conocen especies del tripsacum con 18 y con 36 pares de cromosomas. El teozintle (*Euchlaena*) es nativo del sur de México y de Guatemala y se le considera como el pariente más cercano del maíz. La forma anual del teozintle tiene diez pares de cromosomas, que es el mismo número que se encuentra en el maíz. También se conoce una especie perenne de *Euchlaena* con veinte pares de cromosomas.

El maíz se cruza fácilmente con teozintle. Mediante el uso de técnicas especiales, también se han obtenido cruzas entre maíz y tripsacum (Poehlman, 1992).

I.2 Conformación y tipos

Zea mays es una planta monoica, sus inflorescencias masculinas y femeninas se encuentran en la misma planta. Si bien la planta es anual, su rápido crecimiento le permite alcanzar hasta los 2.5 m de altura, con un tallo erguido, rígido y sólido (ver Figura 2).

El tallo está compuesto a su vez por tres capas, una epidermis exterior, impermeable y transparente, una pared por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial carbohidratos.

Las hojas toman una forma alargada íntimamente arrollada al tallo, del cual nacen las espigas o mazorcas. Cada mazorca consiste en un tronco u olote que está cubierta por filas de granos, los granos son la parte comestible de la planta, cuyo número puede variar entre ocho y treinta (Figura 2).

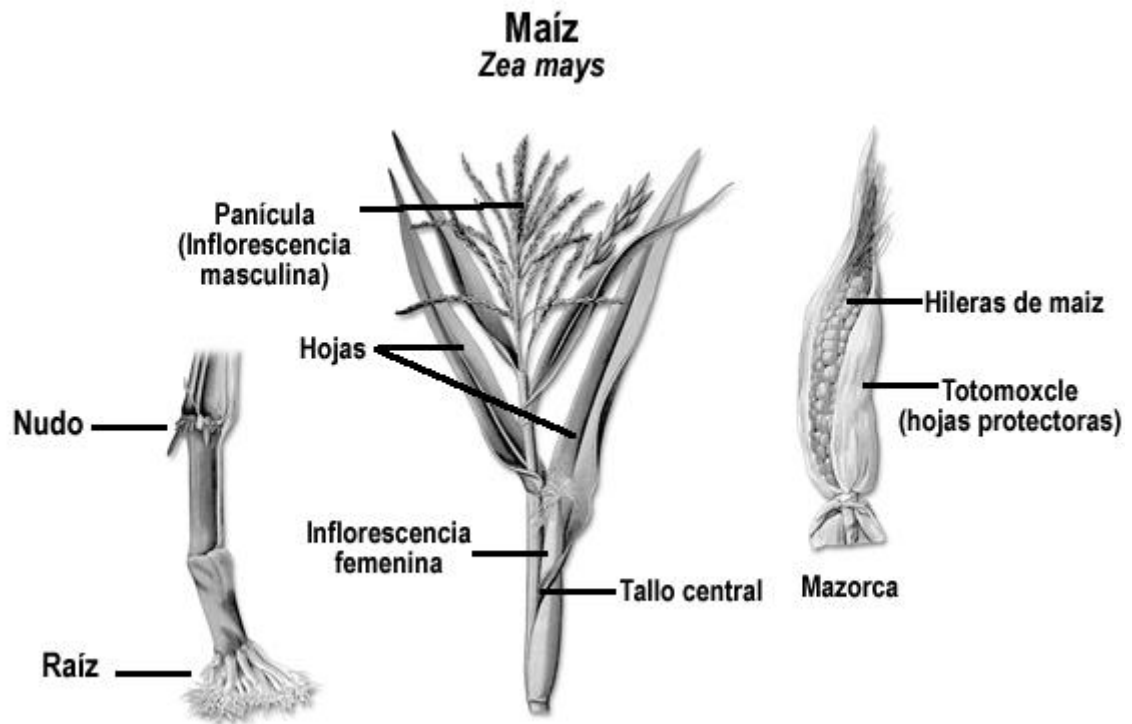


Figura 2. Conformación de la planta de Maíz
Tomado de Didier y Brutus, 2007.

Algunas variedades de la planta de maíz no llegan a los 2 metros de altura, mientras que otras pueden desarrollarse hasta alcanzar los 6 metros de altura. Cada planta tiene un tallo alto, fibroso y leñoso, que termina en un penacho donde se produce el polen.

A lo largo del tallo se producen, en la base de los nudos, una o más espigas envueltas en hojas llamadas espatas. Estas espigas se convierten en mazorcas después de la polinización. Las espigas no polinizadas llevan unos filamentos a manera de sedas que son las flores femeninas. Cuando estos filamentos se desarrollan se dice que el maíz está en la fase de aparición de sedas. Cada filamento sedoso crece a partir del germen de la espiga denominado óvulo. Estos óvulos se disponen en filas a lo largo de las espigas (Bewley, 1983).

Cada grano de polen contiene dos espermatozoides pero sólo uno de ellos logrará fertilizar al óvulo. Cuando el filamento femenino captura un grano de polen tardará unas 24 horas para descender hasta el óvulo donde tiene lugar la fertilización y a partir de ese momento el óvulo empieza a desarrollarse como una semilla. Después de la

polinización, la espiga crece como una estructura larga y medular denominada mazorca. Las semillas inmaduras tienen las envueltas flexibles. A medida que la semilla madura y se desarrollan los gránulos de almidón las envueltas se hacen más firmes.

En el desarrollo de la planta influyen los factores ambientales tales como temperatura, disponibilidad de nutrientes y humedad, pero la mayoría necesitan normalmente unos 65 días para alcanzar la altura normal, conteniendo alrededor de 20 hojas y sus respectivas sedas. Posteriormente necesita otros 60 días para que la planta madure. Normalmente se desarrollará una espiga de grano desde el nudo próximo al suelo hasta el sexto-octavo nudo debajo del penacho; sin embargo, solamente una o dos de las mazorcas situadas en la parte superior se desarrollarán correctamente.

La mazorca de maíz madura contiene aproximadamente 800 semillas y tiene un peso de alrededor de 350 gr. Los granos se unen a la mazorca mediante una estructura que se denomina pedicelo (Figura 3). Cuando el maíz se utiliza como pienso en alimentación animal, los granos normalmente se dejan en la propia mazorca. Los granos con destino a alimentación humana (o para un proceso ulterior) se separan de la mazorca mediante un proceso denominado desgranado.

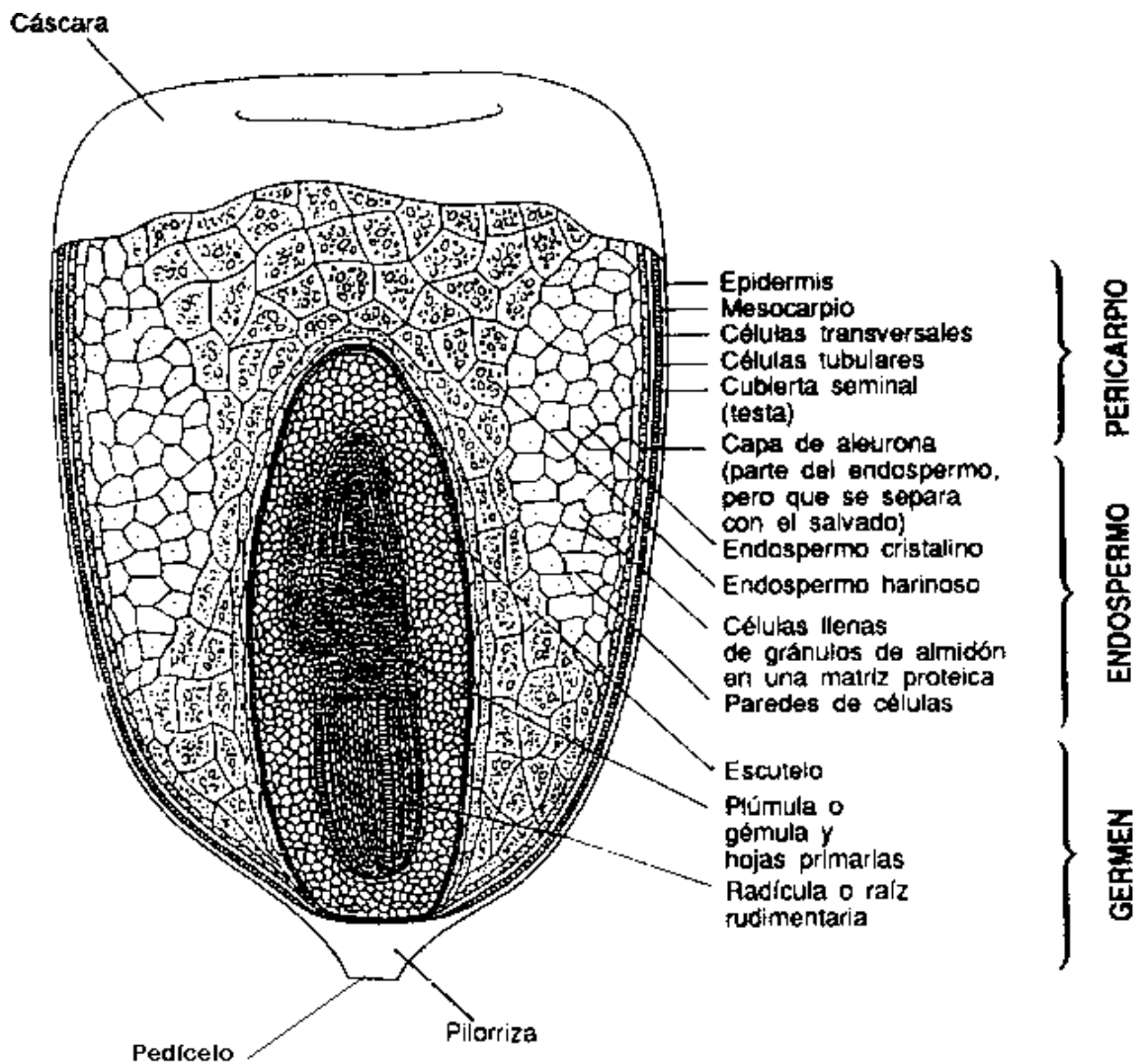


Figura 3. Corte longitudinal del grano de maíz

Tomado de Zuska, 1986

Los granos de las distintas variedades de maíz (excepto maíz dulce) son duros. La cáscara rodea el endospermo y al germen pero no al pedicelo. El grano incluye tanto pericarpio como testa, que puede representar alrededor del 5 % al 6 % de la semilla (Bewley, 1983).

El endospermo representa alrededor del 82 % de la semilla, encontrándose fuertemente asociado con las células de aleurona, las cuales permanecen juntas durante el proceso de molienda. Las células del endospermo son grandes y con paredes celulares relativamente delgadas.

La densidad de los constituyentes del endospermo es variable y a consecuencia de esto las semillas pueden parecer opacas o traslúcidas, o lo que es más común como una mezcla traslúcida dentro de la misma semilla. Las células inmaduras y las partes opacas de las células maduras contienen mayoritariamente gránulos de almidón esféricos, mientras que los gránulos de almidón poligonales se encuentran en las regiones traslúcidas más densas de las células maduras del endospermo (Figura 4).

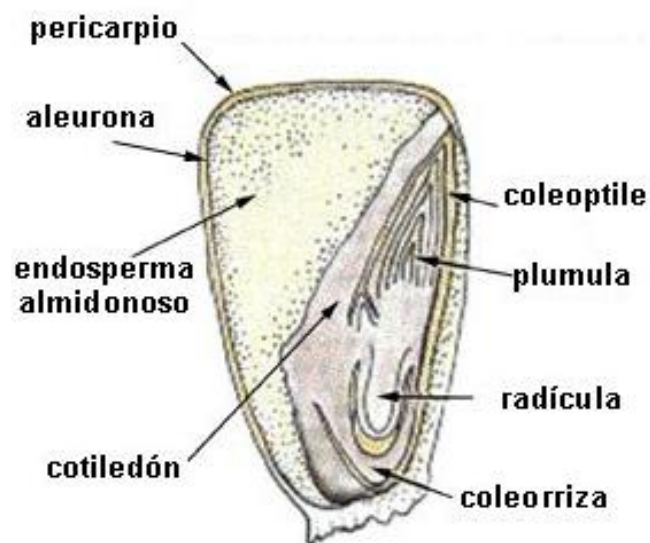


Figura 4. Partes de la semilla de Maíz

Tomado de www.mejoravegetal.criba.edu.ar/.../germina.htm.

A medida que las semillas maduran van perdiendo humedad de forma que llega un momento que se colapsan y se forma, en algunas variedades, un diente en la parte superior de la semilla de donde deriva el término grano dentado (Figura 5).



Figura 5. Granos de maíz dentado

Tomado de www.bcr.com.ar.

Hay seis tipos fundamentales de maíz: dentado, duro, blando o harinoso, dulce, reventón y envainado.

El maíz dentado es el que se cultiva en mayor cantidad en los USA. Se distingue cuando se seca la parte superior del grano y adquiere la forma de diente. Los granos del tipo duro son muy consistentes y las mazorcas generalmente son largas y delgadas. Algunas variedades de este tipo maduran muy pronto.

El maíz blando y harinoso se llama también maíz de las momias, porque es la variedad que generalmente se encuentra en las sepulturas de los aztecas e incas. Se cultiva extensamente en el sur de los USA y en México. Los granos son blandos aun en completa madurez. Algunos son pequeños, pero otros, como los granos gigantescos del maíz de Cuzco, en el Perú, pueden alcanzar hasta dos centímetros de diámetro. El maíz dulce es el que más se consume en los USA para enlatar o comer directamente de la mazorca (Soto, 2004).

La clase reventón es de granos pequeños y muy duros. El nombre proviene del hecho de que estalla cuando convierte el agua del interior en vapor. Un alimento indio antiguo era los granos reventados (popcorn), este es el maíz más común de los que se han encontrado en las antiguas tumbas del Perú, en donde se han descubierto también utensilios para reventar el grano.

El maíz envainado es muy curioso porque cada grano esta encerrado en una pequeña cascarilla propia, además de las que cubren la mazorca. Al igual que el reventón, es una de las clases más antiguas de maíz cultivado. En América del Norte se han encontrado ejemplares que pueden perfectamente considerarse en los 2,000 años anteriores a la iniciación de la era cristiana. Este maíz es poco cultivado comercialmente, pero también era conocido por los indios de la América del Sur. Hace un siglo y medio que Félix de Azara, comisionado español en Paraguay, describió una clase de maíz cuyos granos estaban encerrados en una cubierta. Se trataba del maíz encasquillado (Soto, 2004).

Existen diferentes tipos de maíz obtenidos por cruzamientos e hibridación. A continuación se da el nombre taxonómico de algunos de las miles de especies de maíz.

- *Zea alba* Miller
- *Zea mays Alabama Coschatta* (Flint Corn)
- *Zea amyloacea* Sturtev
- *Zea amylisaccharata* Sturtev
- *Zea cryptosperma* Bonafous
- *Zea curagua* Molina
- *Zea erythrolepis* Bonaf
- *Zea glumacea* Larrañaga
- *Zea indentata* Sturtev
- *Zea indurata* Sturtev
- *Zea japonica* van Houtte
- *Zea macrosperma* Klotzsch
- *Zea mucronata* Vilmorin
- *Zea rostrata* Bonafous
- *Zea saccharata* Sturtev
- *Mays vulgaris* Seringe
- *Mays zea* Gaertn
- *Thalysia mays* Kuntze
- *Zea americana* Mill
- *Zea segetalis* Salisb
- *Zea tunicata* (Sturtev.) L.H.Bailey
- *Zea vulgaris* Mill
- *Zea calama* choclo calameño



De las variedades más comunes del maíz (Figura 6), las más apreciadas para la alimentación humana son las siguientes:

Zea mays amyloacea Sturtev. Maíz tierno, blando o harinoso (del inglés, soft corn), sus granos están constituidos en casi su totalidad de almidón blando, tienen gran utilización en la alimentación humana.

Zea mays saccharata Sturtev. Maíz dulce o azucarado (del inglés, sweet corn). Posee un almidón vítreo y dulzón. Es rico en glúcidos solubles, se utiliza en estado lechoso, momento en que es más apetitoso, por esto es la base de la industria del maíz en conserva en algunos países que son grandes productores de este.

Zea mays everta o rostrata Sturtev. Maíz saltador, de rosita, de pollo o reventón (del inglés, popcorn). Su cultivo así como su utilización está limitado casi exclusivamente al continente americano. Su endospermo está formado en casi su totalidad por almidón córneo y solo en pequeña porción de almidón vítreo o blando. Cuando se calienta, se produce la ruptura de la cutícula y la expansión del endospermo hacia el exterior en forma de masa blanda y suave. Posee alto contenido de fibra dietética o alimentaria cuando se consume en esta forma, además de su baja densidad energética, con el cuidado de no excederse en el contenido de sal (NaCl) en su preparación (Scapim, 2000).



Figura 6. Variedades más comunes de maíz

Tomado de www.floridata.com.

Toda evidencia arqueológica y biológica señala que el maíz se originó en México, quizás en el occidente del país (Benz, 1986) o en la cuenca de Balsas (Iltis, 1987; Doebley, 1990) hace entre 7500 y 10 000 años. Era la principal planta alimenticia de los indígenas cuando Colón descubrió América. Todavía en la actualidad es la cosecha alimenticia más importante en México, América Central y muchos países de América del Sur. El maíz es una de las plantas cultivadas más antiguas. Ya no sobrevive en forma silvestre y sólo se produce bajo cultivo. Los indígenas habían logrado resultados sobresalientes obteniendo variedades de maíces amiláceos, dulces, reventadores, duros y dentados. La principal contribución del hombre blanco al mejoramiento del maíz, antes de este siglo, fue la obtención de variedades dentadas con adaptación a las diversas regiones donde se cultiva maíz en USA. No existen pruebas de que esas variedades mejoradas hayan sido más productivas que las variedades indígenas de precocidad semejante (Solis, 1998).

Durante miles de años se ha cultivado permanentemente el maíz en América. La primera evidencia sobre el cultivo del maíz se encuentra en los granos de polen fosilizados que se encontraron en muestras tomadas de los sedimentos que se depositaron en el lago debajo de la ciudad de México hace más de 80.000 años. Resulta hoy en día interesante que los nativos de los pueblos americanos continúen aún cultivando el maíz y sigan con el folklore que describe al maíz, la calabaza y los frijoles (Solis, 1998).

La mayoría de los expertos creen que el maíz se originó en la Meseta de México o en las tierras altas de Guatemala. Algunos especialistas creen que la planta silvestre teozintle (*Zea mexicana* o *Euchlaena mexicana*) formó parte del ancestro del maíz. Otros botánicos aseguran que el maíz actual se desarrolló a partir de un antiguo miembro de la familia Amarantaceae o incluso de un antecesor silvestre cuya flor tenía sedas. Una teoría convincente sugiere que el maíz se originó en América del Sur a partir de un maíz primitivo que tenía sus semillas en vainas o con una especie cubierta. No se ha encontrado evidencia física de este maíz silvestre, sin embargo en 1948 se descubrió en una cueva cierto maíz antiguo en la parte central de Nuevo México que se estimó que tenía 4,000 años. Este maíz tenía las características de un maíz con vaina en lugar de las del teozintle. No obstante, el maíz encontrado en lugares antiguos más recientes presenta ambas características, lo que sugiere que las dos teorías podrían ser correctas y que el maíz moderno es un híbrido de un maíz con vaina que no ha vuelto a existir y de la antigua gramínea teozintle (Poehlman, 1992).

También existen evidencias que sugieren que el maíz puede haberse originado fuera de América. Así anotaciones de navíos hechas antes del descubrimiento del Nuevo Mundo incluyen con frecuencia descripciones de cosechas que los marineros encontraron en los lugares de desembarco. De estas anotaciones parece deducirse que los habitantes del Archipiélago Índico cultivaban una planta que podría haber sido maíz mucho antes de que América fuera colonizada por los europeos. Este cultivo tenía el nombre de jegung, que se trata de un nombre estrictamente nativo sin influencia europea (lo que confirma que estas plantas eran indígenas). Tampoco existen registros ni razones para pensar que estos pueblos habían tenido contacto alguno con los viajeros procedentes de América (Solis, 1998).

Los exploradores portugueses registraron una planta que cultivaban en el este de la India durante el siglo XV que denominaban milho y que algunos expertos arqueólogos piensan que se trata de maíz. Otro hecho que corroboraba que el maíz se originó fuera de América puede encontrarse en los cuadernos de navegación y en los diarios de los viajeros del siglo XVI, incluyendo a Magallanes, quien escribió acerca de haber visto cultivos de maíz en Filipinas. Finalmente, en China el nombre del maíz es Hsi fan mai o trigo tibetano que históricamente se cree que llegó procedente de la India y que se cultivaba mucho antes de la llegada de los europeos (Poehlman, 1992).

Desde luego, si el maíz se transportó de alguna forma extraña o por medio de viajeros de los que no se tiene constancia o por criatura migratoria hacia o desde América, de lo que no hay dudas es que el primer gran impacto del cultivo de maíz tuvo lugar en América. La Biblia y los registros del antiguo Egipto y de la civilización Griega no hacen mención al maíz, ni hay imágenes ni referencias al maíz en sus antiguas pinturas. Por todo lo anterior, generalmente se acepta entre los científicos que el maíz es nativo de América en donde su cultivo se ha realizado de forma fehaciente desde hace al menos 7,000 años (Poehlman, 1992).

1.4 Importancia social

El maíz es, probablemente, la planta cultivada en la que mejor se ve la evolución natural e intereses agronómicos que no son siempre coincidentes, e incluso, contrarios ¿cómo se esparcirían sus semillas si no es con ayuda humana?

Para España fue una de las primeras especies importadas de América, en una fecha tan próxima al descubrimiento que planteó serias dudas sobre su auténtico origen. En Galicia fue una de las causas del minifundio, por sus altos rendimientos, y en la Cornisa Cantábrica se cultivó desde la primera década del siglo XVII, para luego extenderse por toda Europa. Esta temprana adopción, muy probablemente, fue debida a su semejanza con los cereales europeos, a diferencia de otras plantas, como la patata, que eran más extrañas y hasta sospechosas. Sin embargo no fue importante para la alimentación de los europeos hasta bien entrado el siglo XIX. Podemos decir que, el maíz, fue causa y consecuencia de la Revolución Industrial, aplicada a la agricultura, ya que se multiplicaron los rendimientos por superficie cultivada, y por él y para él se entiende la estabulación de los animales, que empezaron a ser alimentados con piensos suplementarios, a la vez que, estos animales, producían el estiércol necesario para la planta (Solis, 1998).

Pero también evidenció las carencias de la sociedad europea de la Edad Moderna, el mercantilismo y el incipiente capitalismo y tal como dice Arturo Warman, se convirtió en un bastardo destinado a alimentar a los más pobres, y en buena parte discriminado por su origen no europeo. De todas maneras, y también con palabras de Warman, consumó su maldición en plena Revolución Industrial, que inicialmente fue casi solo urbana. Debido al desconocimiento de su correcta preparación y a las deficientes condiciones de almacenaje y transporte produjo pelagra entre los más pobres de Europa, que, a pesar de la mencionada Revolución Industrial, seguían viviendo bajo condiciones feudales, a la vez que se incrementaban las especializaciones y los monocultivos en las explotaciones señoriales; por lo tanto los trabajadores (de hecho aparceros en condiciones muy desventajosas) de estas explotaciones se alimentaban casi exclusivamente de maíz mal preparado y peor conservado (el 90 % del peso de lo que comían) (Muller y Tobin, 1986).

I.5 Uso y aprovechamiento del maíz

El maíz tiene un alto valor energético y se utiliza tanto para alimentación humana como animal (para toda clase de ganado) y también para numerosas aplicaciones industriales (Solis, 1998).

Los ganaderos guardan aproximadamente la mitad de su producción de maíz en silos o en contenedores para la alimentación de su ganado. De ahí que el valor absoluto de la cosecha de maíz no pueda medirse por la cantidad de grano vendido ya que parte de la cosecha anual se destina a criar el ganado. Se estima que más de la mitad de la producción mundial del maíz se destina a la alimentación animal. De esta forma una gran parte de la cosecha multibillonaria de maíz nunca llega al mercado del cereal. (Solis, 1998).

Para utilización de pienso (incluida la alimentación de aves) el maíz primero se muele. Debido al elevado contenido en grasa, el maíz se enrancia rápidamente, de ahí que los fabricantes de piensos prefieran utilizar los subproductos tanto de la molienda húmeda como de la seca.

A partir de los millones de toneladas de tallos de maíz que se producen, se elabora un sustituto de caucho. También se han utilizado los tallos para elaborar papel, cartón y los gases procedentes de la fermentación de los residuos del maíz se utilizan para obtener alcohol metílico (Mendoza de Gyves, 1994).

Con respecto de los zuros se extrae un compuesto aceitoso denominado furfurool que se utiliza en la elaboración de fibras, drogas y solventes. De algunas mazorcas se fabrican también pipas para fumadores (Mendoza de Gyves, 1994).

Más del 45 % de la producción mundial del maíz se destina a obtener almidón mediante molienda húmeda y la mayor parte de este almidón se transforma mediante una combinación de calor, tratamiento químico o tratamiento enzimático en jarabes de maíz (glucosa), azúcar y maltodextrinas. La mayoría de estos productos se destinan a la producción de alimentos (Lawrence, 2008).

El almidón remanente se usa en determinados productos alimenticios o bien sirve como materia prima para obtener pegamentos, lacas, pinturas, colorantes textiles, tintas de impresión y plásticos, o como soportes inertes de productos farmacéuticos y agroquímicos. Muchos de los productos más recientes que se están desarrollando a

partir del almidón de maíz son más respetuosos con el medio ambiente que los producidos a partir del petróleo (Herrera y Martínez, 2004).

Además el almidón de maíz se utiliza como espesante de productos alimenticios y también para darle rigidez a la fibra textil. En papelería se usa más almidón de maíz que en cualquier otra actividad industrial, empleándose para darle resistencia y mayor tamaño al papel satinado. Alrededor del 12 % de la cosecha mundial de maíz se fermenta utilizándose el alcohol etílico producido, principalmente, como combustible, si bien una pequeña cantidad se bebe como cerveza y otras bebidas alcohólicas (Hiei, 1994).

También se conoce que residuos de alcohol anhidro, mezclados con gasolina, se pueden emplear como carburante, ya que el maíz contiene un biocarburante derivado del bioetanol que es el ETBE (etil-ter-butil-éter), caracterizado por mezclarse fácilmente con la gasolina, se le añade a ésta para aumentar el índice de octano, evitando así la adición de sales orgánicas de plomo (Wood, 2008).

A principios de 2003 la empresa DuPont presentó el primer polímero que se ha conseguido obtener a partir del maíz, este polímero se comercializa como Sorona® y con él se pretende sustituir al petróleo como fuente de polímeros por un recurso renovable. El proceso utiliza la bacteria *Escherichia coli* para obtener un polímero del 1,3 propanodiol, que se podrá utilizar para fibras textiles (Muñoz, 2004).

I.6 Nutrientes

Algunas de las propiedades que hacen del maíz una fuente importante de salud son su alto contenido en carbohidratos de fácil digestión, que lo convierten en un alimento ideal para los niños, siendo idóneo cuando existe intolerancia al gluten, su contenido en magnesio es aconsejable cuando existe carencia de este elemento en la persona, su aporte en fibra favorece la digestión y reduce el colesterol, ofrece vitaminas del grupo B, específicamente B1, B3 y B9, que actúan ante el sistema nervioso, también proporciona el antioxidante betacaroteno, muy recomendado en la prevención del cáncer.

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen, tiene bajo nivel de ácidos grasos saturados, en cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, además el aceite de maíz es relativamente estable

porque contiene únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico y niveles naturales de antioxidantes (Boyer, 2000).

El total de carbohidratos del grano es variable pero la sacarosa es el elemento más importante, se halla esencialmente en el germen. El mineral que más abunda es el fósforo en forma de fosfato de potasio y magnesio, se encuentra en su totalidad en el embrión. Como sucede en la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de calcio y de oligoelementos. El grano de maíz contiene también dos vitaminas solubles en grasa. La provitamina A o carotenoides, y la vitamina E (vitamina liposoluble) que se halla principalmente en el germen (TABLA 1).

Los gránulos de almidón de maíz se encuentran incluidos en proteínas. La unión de proteína-almidón es mucho más fuerte en el maíz que en otros cereales como el trigo. También las proteínas contienen cantidades no muy grandes de zeína que se encuentra dentro de las proteínas de reserva. La zeína es la fracción de prolamina de la proteína del endospermo del maíz. Esta proteína contiene más de 15 polipéptidos diferentes pertenecientes bien a un grupo con pesos moleculares de alrededor de 21,000 daltons o bien a un grupo de polipéptidos de mayor tamaño con pesos moleculares de alrededor de 23,000 daltons. Se sabe que los genes que controlan la síntesis de zeína proceden de duplicación y mutación de un único gen primitivo. Las cadenas polipeptídicas de ambos grupos de 21,000 y 23,000 daltons presentan una secuencia amino-terminal similar aunque los polipéptidos de mayor tamaño contienen unos 20 residuos de aminoácidos extras que se disponen bien en el interior de la cadena o en la parte C-terminal (Bewley y Black, 1983).

El germen del maíz es relativamente grande si se compara con otros cereales, siendo particularmente rico en lípidos insaturados (el 25 % del peso de la semilla es de aceite). El germen también contiene enzimas, minerales y vitaminas y, sobre todo, los nutrientes liposolubles tales como los tocoferoles (Solis, 1998).

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MAÍZ

COMPOSICIÓN DE LA HARINA DE MAÍZ POR CADA 100 GR		
	INTEGRAL. AMARILLA	BLANCA ENRIQUECIDA
AGUA	10.9 gr	9.03 gr.
ENERGÍA	361 Kcal	365 Kcal
GRASA	3.8 gr.	3.78 gr.
PROTEÍNA	6.9 gr.	9.34 gr.
HIDRATOS DE CARBONO	76.8 gr.	76.02 gr.
FIBRA	13.4 gr.	9.6 gr.
POTASIO	315 mg.	298 mg.
FÓSFORO	272 mr.	223 mg.
HIERRO	2.3 mg.	7.21 mg
SODIO	5 mg	5 mg.
MANGANESO	0.46 mg.	0.48 mg.
MAGNESIO	93 mg.	110 mg.
CALCIO	7 mg.	141 mg.
ZINC	1.7 mg	0.7 mg.
SELENIO	15.4 mcg.	15 mcg.
VITAMINA C	0	0 mg
VITAMINA A	460 UI	0 UI
VITAMINA B1	0.246 mg.	1.42 mg.
VITAMINA B2	0.080 mg.	0.75 mg.
VITAMINA E	0.25 mg.	0.25 mg.
NIACINA	1.9 mg.	9.8 mg.

Tomado de www.botanical-online.com/maizpropiedades

El maíz aporta a la nutrición humana los aminoácidos siguientes: Lisina, Triptófano, Histidina, Arginina, Ácido aspártico, Treonina, Serina, Ácido glutámico, Prolina, Glicina, Alanina, Cisteína, Valina, Metionina, Isoleucina, Leucina, Tirosina y Fenilalanina, así como otros componentes de valor nutricional como se muestra en la TABLA 2.

Hay que tener en cuenta también respecto a la composición aminoacídica que el aminoácido limitante es el triptófano por lo que para mejorar su valor biológico debe ser consumido conjuntamente con una leguminosa o con proteína animal (Dendy y Dobraszcyk, 2001).

TABLA 2. VALOR NUTRICIONAL DE LAS SEMILLAS DE MAÍZ DULCE

Valor nutricional por cada 100g	
Energía- 90 kcal /360 kJ	
Carbohidratos	19 g
Azúcares	3.2 g
Grasas	1.2 g
Proteínas	3.2 g
Vitamina A equiv. 10 µg	1 %
Tiamina (Vitamina B1) 0.2 mg	15 %
Niacina (Vitamina B3) 1.7 mg	11 %
Ácido Fólico (Vitamina B9) 46 µg	12 %
Vitamina C 7 mg	12 %
Hierro 0.5 mg	4 %
Magnesio 37 mg	10 %
Potasio 270 mg	6 %
Porcentajes relativos a las recomendaciones (DDR) de los U.S.A. para adultos.	
Fuente: Base de datos de nutrientes (USDA)	

Tomado de www.fao.org

I.7 Producción y Distribución

Colón fue el primero que al final del siglo XV llevó semillas de maíz desde América a España. No es probable que Cristóbal Colón fuera consciente que su cargamento resultara un día ser mucho más valioso para el género humano que cualquier cantidad de oro que pudiera descubrir. En la actualidad se siembran en todo el mundo más de 129 millones de hectáreas de maíz que sólo es superado por las tierras dedicadas al cultivo del trigo y del arroz. El maíz es capaz de dar muy altos rendimientos. Su rendimiento medio puede ser el doble que los de la avena y centeno, además, como el maíz es relativamente barato y fácil de cultivar, tanto el grano como sus subproductos tienen una utilización muy diversa. El maíz indudablemente ha tenido una influencia primordial en el uso global de la tierra, en nuestra dieta y en la calidad de nuestras vidas (Solis, 1998).

El maíz comenzó a ser un producto importante para los europeos desde el primer momento que lo probaron. Los primeros colonizadores europeos en América cultivaron

el maíz bajo las indicaciones de los nativos americanos y de esta manera fueron capaces de sobrevivir durante los primeros inviernos en el Nuevo Mundo. En la actualidad América cultiva aproximadamente el 41 % de la producción total de maíz (576 millones de toneladas métricas) equivalentes a más de 30 billones de dólares. La mayor parte de esta producción se realiza en el enorme cinturón fértil que se extiende desde el este de Ohio al este de Nebraska. A esta zona se le ha denominado cinturón del maíz y cuenta con las condiciones ideales para su cultivo. Usualmente el suelo está húmedo de forma continua durante los períodos de mayor crecimiento del maíz y el clima es suave con abundante calor solar que la planta necesita para su maduración (Sánchez-Velásquez, 2001).

Con anterioridad al descubrimiento de América, los indios plantaban maíz en forma muy simple. Echaban las semillas en un agujero, las espolvoreaban con ceniza de madera, añadían un pescado muerto como fertilizante y cubrían las semillas con la tierra. Actualmente las variedades perfeccionadas de maíz requieren un suelo arcilloso de buen desagüe y cálido. Se sabe que el maíz produce más si se siembra después de una cosecha de leguminosas en rotación con otras plantas. El tiempo de desarrollo varía desde dos a siete meses. El clima ideal del maíz es con mucho sol, frecuentes lluvias durante los meses de verano, noches cálidas y humedad bastante alta. El maíz es realmente un producto tropical y no puede darse en regiones situada muy al Norte cuando las noches de verano resultan frías. Excesivas lluvias lo perjudican. Después de que el maíz emerge de los campos, debe mantenerse el suelo libre de malezas y hay que luchar contra los insectos (Solís, 1998).

La mayor parte del trabajo de la plantación, cultivo y cosecha del maíz en las grandes haciendas de los USA se hace a máquina. Máquinas sembradoras a cuatro hileras, escarbadoras de dos a cuatro hileras y recolectoras mecánicas es algo que se ve con frecuencia en dicho país. El maíz se puede recolectar de distintas maneras. En las fincas pequeñas las cañas suelen cortarse cuando las mazorcas están maduras y se les quitan las espigas y hojas secas. En las haciendas grandes se dejan las cañas en pie hasta que las mazorcas y sus cubiertas estén bien secas. Luego se colectan a mano o con máquinas y se almacenan en el granero.

Estos son locales sombreados especialmente contruidos y ventilados para permitir la continuación del proceso de secamiento y para proteger el maíz de la humedad y de los roedores. A fin de facilitar el uso de la planta como forraje durante el invierno se

pueden cortar las matas enteras y secas para ensilarlas. En el silo fermentan débilmente y toman un sabor y olor ligeramente ácidos que agrada a los animales (Reyes, 1990).

Mediante el aporte del riego, el maíz es también muy productivo, y aunque es originario de zonas semiáridas, las variedades mejoradas actuales sólo resultan rentables al cultivarlas en climas con precipitaciones suficientes o bien en regadío. Puede crecer en zonas desde el nivel del mar hasta los 4000 metros, en una gran variedad de suelos. En temporal se siembra de abril a junio y su desarrollo se prolonga hasta agosto o septiembre (Landaverde, 1949).

La producción mundial de estas semillas ha alcanzó los 880 millones de toneladas en un año. Comparando con los 570 millones de toneladas de trigo o los 400 millones de arroz, se comprende la importancia básica a nivel mundial del maíz, no sólo económicamente sino a todos los niveles.

Actualmente el maíz es sembrado en casi todos los países de América Latina, entre ellos: México, Brasil, Argentina, Chile, Perú, Paraguay, etc. Este constituye, con el frijol, calabaza y chile los alimentos fundamentales en toda América. USA es el mayor productor con cerca del 45 % de la producción total mundial (TABLA 3).

TABLA 3. PRODUCCIÓN MUNDIAL Y DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL MAÍZ

País	Producción (miles tn)	Producción (%)
USA	299,917	42.34
China	130,290	18.39
UE	53,348	7.53
Brasil	35,000	4.94
México	22,630	3.19
Argentina	19,500	2.75
India	13,600	1.92
Rumania	12,000	1.69
África del Sur	11,716	1.65

Canadá	8,840	1.25
Otros	101,487	14.33
Total Mundial	708, 328	100.00

Tomado de USDA. Grain World Market & Trade. Diciembre 2005

Durante los últimos años, el crecimiento en el consumo interno y en las exportaciones destinadas esencialmente a México, hicieron sumamente atractiva la siembra de esta variedad.

A pesar del aumento de la producción de maíz blanco en los últimos tres ciclos comerciales, la producción sólo representa 1.6 % de la cosecha total de maíz amarillo de USA (234,650 millones de toneladas). En la actualidad prácticamente la producción de maíz blanco en USA es para consumo mexicano.

Estos indicadores abren la posibilidad (como en el caso de la cebada) de un buen programa de sustitución de importaciones que pueda dar una importante contribución a la economía agrícola.

El maíz se cultiva en una amplia diversidad de ambientes de producción, pero no existe un sistema universalmente reconocido para clasificar los ambientes de producción del maíz en México. Lo más cercano a un sistema de clasificación estandarizada ha sido desarrollado por el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), que es un organismo internacional, sin fines de lucro, que se dedica a la investigación científica y la capacitación en relación con el maíz y el trigo. Los orígenes del CIMMYT se remontan a un programa piloto en México en 1943, patrocinado por el Gobierno de México y la Fundación Rockefeller. Este organismo tiene una misión que consiste en mejorar el germoplasma de maíz para los países en desarrollo.

De esta manera, el centro ha clasificado cuatro ambientes principales de producción conocidos como mega-ambientes: (1) las tierras bajas tropicales, (2) las zonas subtropicales/de altitud media, (3) las tierras altas tropicales y (4) las zonas templadas.

Estos mega-ambientes, definidos básicamente en función de sus factores climáticos por ejemplo, la temperatura media durante el ciclo de cultivo, la altura sobre el nivel del

mar y la duración del día, en teoría se caracterizan por su relativa uniformidad dentro de la misma clase. Sin embargo, como en los hábitos de crecimiento de las plantas de maíz influyen las complejas interacciones entre muchos factores climáticos diferentes, no siempre está claro dónde termina exactamente un mega-ambiente y comienza otro (Pswarayi y Vivek, 2007).

Al considerar la importancia relativa de los cuatro mega-ambientes, es importante señalar que aproximadamente el 85 % de la producción de maíz en América Latina proviene de ambientes no templados; únicamente cerca del 15 % se cultiva en ambientes templados, principalmente en el sur de Brasil, Argentina y Chile. La marcada diferencia entre los ambientes no templados y templados donde se cultiva el maíz tiene implicaciones importantes para la distribución del germoplasma mejorado.

Muchos de los ambientes de producción de maíz identificados en diferentes países son de clima templado y, por tanto, los productores han adoptado directamente los híbridos comerciales, así como las prácticas agronómicas mejoradas que se originan en América del Norte y Europa.

En muchas otras partes de México, América Central y el Caribe, así como en algunas zonas de los países andinos, el maíz es un importante alimento básico que una gran parte de la población rural produce para consumo doméstico. Excepto por un pequeño sector agrícola comercial, la mayoría de los sistemas de producción de maíz en esos países se caracterizan por su pequeña escala, su complejidad y su gran dependencia de la tracción animal y, sobre todo, de la mano de obra. El maíz a menudo se siembra asociado con frijol, calabaza, chiles, yuca y otros cultivos alimentarios destinados al consumo doméstico, y muchos agricultores usan poco o ningún fertilizante químico o plaguicidas.

En general, se hace poco uso de las variedades mejoradas, ya sea porque los agricultores no tienen acceso a fuentes confiables de semilla o porque prefieren cultivar las variedades tradicionales de maíz desarrolladas para satisfacer necesidades específicas de la alimentación del hombre y los animales (Rawlings, 1962).

Más al sur, el panorama es diferente. En el sur de Brasil, Argentina y Chile, los productores en gran escala cultivan el maíz básicamente con propósitos comerciales,

utilizan un mayor grado de mecanización y, cuando es rentable, grandes cantidades de insumos.

En comparación con otras regiones del mundo, el comportamiento de la economía latinoamericana del maíz ha sido variado. Durante las décadas de los 60, los 70 y los 80, el incremento de los rendimientos de maíz en América Latina en general fue más lento, comparado con el de los países en desarrollo; asimismo, se observó que en América Latina el aumento de los rendimientos fue inferior al que se registró en Asia, pero, casi siempre, superior al de África al sur del Sahara. Sin embargo, en los años 90, las posiciones se invirtieron. Hasta 1997, los rendimientos de maíz en África, al sur del Sahara aumentaron con mayor rapidez que en todas las demás regiones en desarrollo y Asia se quedó atrás. El comportamiento relativamente favorable del sector latinoamericano de maíz durante los años 90 puede atribuirse al crecimiento acelerado de la productividad en el Cono Sur, cuando los productores respondieron a los marcados aumentos en los precios mundiales del maíz. El aumento de la productividad en México, América Central y la Zona Andina ha sido mucho más modesto. No obstante, existen en México grandes zonas de producción de maíz, como las de Sonora y Sinaloa, entre otras, donde se han logrado incrementos significativos en los rendimientos (Rubio, 2004).

1.8 Consumo

Las estimaciones aproximadas basadas en los patrones de producción y el flujo del comercio internacional indican que los países en desarrollo consumen más del 90 % del maíz blanco producido en todo el mundo y que el consumo se concentra en África, México y Centroamérica. La mayor parte del maíz blanco se consume directamente como alimento y pequeñas cantidades se destinan a otros usos.

En América del Sur, principalmente en Colombia y Venezuela el empleo de maíz blanco es más importante, mientras que en el resto de la región y en el Caribe el tipo preferido es el maíz amarillo. En Asia, donde los alimentos básicos son el arroz y el trigo, la utilización del maíz blanco es limitada y en gran medida localizada. En países desarrollados, el maíz blanco es un alimento básico por ejemplo en la República de Sudáfrica, mientras que en USA se usa principalmente en la industria alimentaria para elaborar alimentos preparados y bocadillos. En varios otros países, se importa el maíz blanco para fabricar almidón, whisky y para agregarlo al arroz (Zhao, 2005).

A nivel mundial, los principales consumidores de maíz son a la vez los principales productores, lo que demuestra que este cultivo es mayormente para consumo nacional, USA y la Republica Popular China de manera conjunta consumen el 52.42 % del total consumido a nivel mundial. Le sigue en orden de importancia la Unión Europea (8.10 %), Brasil (5.71 %) y México (4.17 %).

I.9 Gastronomía

El uso principal del maíz es alimentario. Puede cocinarse entero, desgranado como ingrediente de ensaladas, sopas y otras comidas. La harina de maíz (polenta) puede cocinarse sola o emplearse como ingrediente de otras recetas. El aceite de maíz es uno de los más económicos y es muy usado para freír alimentos.

En la cocina latinoamericana el maíz tiene participación importante en diversos platos como: tortillas, locros, sopa de cuchuco, choclo o chócolo, arepas, cachapas, hallacas, hallaquitas, tamales que en muchos casos reemplazan al pan de trigo en la cocina local. En muchos países de esta región es muy importante el consumo de harina de maíz precocida (González de la Vara, 1996).

Una bebida caliente a base de maíz es el atole, y otra fresca es el tejuino. La bebida fermentada o chicha es parte de la tradición aborigen en muchos países latinoamericanos.

El maíz es responsable también de una delicadeza gastronómica propia de la parte central de México. En la temporada de verano la alta humedad de las parcelas donde se siembra la milpa favorece la aparición de diversas especies de hongos, entre ellos el llamado huitlacoche. Se trata del hongo basidiomiceto denominado *Ustilago maydis*. Este hongo forma protuberancias globosas en varias partes de la planta de maíz, particularmente en la mazorca en desarrollo, a la cual llegan a destruir. Las protuberancias están llenas de una masa pulverulenta de esporas de color negro. Estas mazorcas no producirán maíz aprovechable pero, justo antes de que las protuberancias estallen liberando las esporas, son cortadas por los campesinos (Landaverde, 1949).

Con cuchillo se separan los granos tiernos y la masa fungosa que los aprisiona, y se les combina con flores masculinas de calabaza o de chilacayote, con cebolla, chile y hojas de epazote picados. Esta mezcla se fríe en aceite o en manteca de cerdo y se envuelven con masa de maíz. Estas quesadillas de huitlacoche se asan en comal y se

sirven calientes. El huitlacoche así preparado se consume también en tacos. Este platillo es ya escaso en muchos lugares, por lo que es caro, pero aún puede encontrarse en los mercados públicos de varios pueblos aledaños a la capital mexicana, o en los mercados de muchas de las delegaciones del Distrito Federal (Xochimilco, Milpa Alta, Iztapalapa, Cuauhtémoc).

El maíz frito es un producto reciente que se vende bajo diversas marcas como una alternativa a las papas fritas o cacahuates. Otras aplicaciones incluyen tostadas, tortilla semiplana sobre la que se añaden verduras y guisados a base de pollo, carne deshebrada o cebiche (Figura 7).



Figura 7. Aplicaciones del maíz en la gastronomía

Tomado de www.cambiodemichoacan.com.mx/vernota.php

En la década de 1860, W. K. Kellogg comenzó a elaborar una pequeña pasta a base de harina integral de trigo, avena y maíz. Elaboraba unas pequeñas piezas y las tostaba en un horno para posteriormente empaquetarlas. Éste fue el inicio de las famosas hojuelas conocidas como Corn flakes (copos de maíz) u hojuelas de cereales. A la fórmula original se le añadieron azúcares y otros componentes, posteriormente se elaboraron hojuelas exclusivamente de maíz, corn flakes, tan populares hoy en día (Mangelsdorf, 1964).

Hay una variedad conocida en la tierra de los Incas, región andina del Perú, cuyo consumo actualmente se encuentra extendido a nivel nacional, llamada maíz morado. Este es utilizado para preparar una bebida no alcohólica conocida como chicha morada. El insumo principal de la bebida es el maíz culli o ckolli, que es la variedad peruana de maíz morado el cual se cultiva ampliamente en la cordillera de los Andes.

En México se acostumbra comer granos de mazorca de maíz cocidos en agua, de los cuales se derivan dos platillos diferentes, uno es el esquite y otro es el pozole. Dependiendo de la región y el gusto individual, a los esquites se les puede añadir una combinación de ingredientes diversos, entre los que resaltan sal, limón, chile, queso, crema y mayonesa. El pozole, por otro lado, es un platillo tradicional al que se le pueden agregar distintos tipos de carnes y se caracteriza por tener un grano de maíz considerablemente más grande que el de los esquites (Sugiura, 1996).

Las palomitas de maíz eran un plato típico de los nativos amerindios y fueron una novedad para los primeros exploradores del Nuevo Mundo, tanto así que Colón y sus hombres muy asombrados, compraron collares de palomitas de maíz a los nativos caribeños.

Los indios preparaban las palomitas de maíz de tres formas, la primera consistía en ensartar una mazorca de maíz en un palo y tostarla sobre el fuego, recogiendo los granos que explotaban y se desprendían de ella. La segunda consistía en separar los granos de la mazorca y arrojarlos directamente al fuego, comiéndose los que explotaban y el último y más complicado consistía en calentar una vasija de arcilla poco profunda, que contenía arena de grano grueso, y cuando la arena alcanzaba una temperatura elevada, se colocaban sobre ella los granos de maíz desgranados de la mazorca, que al cocerse estallaban en la superficie. En Venezuela el popcorn o palomitas de maíz es conocido con el nombre cotufa que proviene del inglés Corn to fry.

I.10 Tradición y cultura

Existe un mito huichol que habla sobre la selección antropogénica realizada por esta nación indígena con el maíz...

...la Madre del Maíz cambió su forma de paloma y adoptó la humana; le presento al muchacho sus cinco hijas, que simbolizan los cinco colores sagrados del maíz: blanco, rojo, amarillo, moteado y azul. Como el joven tenía hambre, la Madre del Maíz le dio

una olla llena de tortillas y una jícara llena de atole; él no creía que eso pudiera saciar su hambre, pero las tortillas y el atole se renovaban mágicamente, de manera que no podía acabárselos. La Madre del Maíz le pidió que escogiera a una de sus hijas y él tomó a la Muchacha del Maíz Azul, la más bella y sagrada de todas (Furst, 1972) (Figura 8).



Figura 8. Centéotl Dios del Maíz
Tomado de www.qfb.umich.mx/maiz0.htm.

Esta leyenda habla sobre la influencia de la síntesis de antocianinas, moléculas que dan el color característico al grano de maíz en la selección del maíz. Al decir que La Madre del Maíz, encuentra a un huichol al cual lleva a su casa y ofrece en matrimonio a sus hijas donde cada una de ellas representa un color característico de las semillas de este alimento, se indican los principales colores de granos de maíz de donde se realizará la selección, así pues tiene una hija maíz blanco, otra rojo, amarillo, moteado y azul, de esta manera el huichol escoge a la Muchacha del Maíz Azul por ser la más sagrada de todas (Furst, 1972).

El maíz tiene una presencia ancestral en la vida cotidiana de los pueblos de América. Su gente lo siembra, lo muele, lo amasa y lo come de una y mil maneras distintas (www.qfb.umich.mx).

Las calles de muchos de los pueblos y ciudades de este continente huelen a maíz. En México, cuna del maíz más antiguo del que se tenga conocimiento, no hay cocina por

más humilde o más pudiente que sea, donde no haya una colorida cesta de pajilla con tortillas de maíz en su interior, envueltas con un pañito para mantenerlas calientes.

La presencia del maíz en el continente americano se remonta a los tiempos prehispánicos. Dicen los historiadores y antropólogos que el maíz desempeñó un papel clave en el desarrollo de esas culturas.

"Las noticias que se tienen de la domesticación y el manejo del maíz por el humano provienen por lo menos 8,000 años antes de Cristo, y las notas más antiguas provienen de México, aunque es posible que otras exploraciones arqueológicas lleven datos de algunas zonas en Perú como otro de los lugares donde hubo hallazgos importantes de maíz", comentó a BBC Mundo, Salvador Reyes Equiguas, del Instituto de Investigaciones Históricas de la Universidad Autónoma de México, UNAM (Muñoz, 2004).

El maíz era el sustento principal entre las culturas de la región mesoamericana, como la Olmeca, Maya, Teotihuacana y Mexica, entre otras. No sólo servía de alimento. También era utilizado en ritos y tradiciones religiosas, y se le consideraba casi como un dios.

La relación del hombre prehispánico con el maíz era muy profunda. El Popol Vuh, el libro sagrado de los mayas, habla de que los hombres fueron formados por los dioses de la masa del maíz. Todavía en muchos pueblos indígenas el maíz sigue siendo sacralizado. Por eso se habla de los hombres de maíz.

Las diferentes variedades del maíz, que se distinguen entre sí por el color del grano, tenían en los tiempos prehispánicos significados distintos, todos vinculados a la relación del hombre con el Universo. El maíz blanco, por ejemplo, representaba el centro de ese universo.

Las comunidades indígenas de entonces no le daban al maíz el mismo tratamiento que se le da hoy en día. Se sabe más o menos que por el año 1,000 antes de Cristo, hubo un proceso sorprendente en el manejo del maíz, que es la nixtamalización, es decir, dejar remojando los granos de capa gruesa en un caldo con algunos minerales que contienen calcio. El papel del calcio era despojar al grano de su cáscara y dejarlo libre para su consumo posterior (Landaverde, 1949).

Se sabe también que los pueblos indígenas tenían el conocimiento necesario para ir desarrollando variedades de maíz más adecuadas al clima tropical, a la sequía, o lo que requerían para diferentes alimentos.

Ancestralmente, los campesinos productores de maíz han sabido aprovechar todo lo que la planta tiene para dar. No desperdician nada. Los granos los utilizan como alimento. Las hojas sirven para envolver los tamales mexicanos o las hallaquitas venezolanas.

Algunos pueblos también utilizan las hojas para hacer artesanías, y de las cañas del maíz aprovechan un líquido dulce que es muy parecido al azúcar.

En países como México y en muchos otros de la región, es difícil concebir la vida sin maíz. No se puede vivir sin maíz. El maíz es indisoluble del ser cotidiano de estos pueblos.

I.11 Enemigos del maíz

El cultivo del maíz es bastante vulnerable por lo que su éxito depende de la intervención del hombre. Puesto que las espigas sin fertilizar (flores femeninas) se encuentran casi completamente envueltas por las espigas, resulta bastante difícil su polinización. En consecuencia, el maíz precisa crecer en cultivos densamente sembrados donde exista suficiente cantidad de polen para que se realice la polinización. Sin embargo, el maíz cultivado con gran densidad de plantas es más fácilmente afectado por las plagas, conociéndose más de 350 plagas de insectos que atacan al maíz como los gusanos del suelo y los barrenadores del tallo del maíz que son los que más daño producen. Por este motivo las buenas cosechas de maíz deben estar condicionadas a un adecuado manejo por parte del agricultor (Alcalde, 1999).

Después de que el maíz emerge de los campos debe mantenerse el suelo libre de malezas y hay que luchar contra los insectos. Existen muchos insectos que atacan el maíz, entre ellos la oruga del insecto *agrostis* o trozador, que destruye las plantas jóvenes, el horador o talador de maíz, la larva del *blissus* y el gusano del maíz *heliopsis*, que ataca la mazorca. Algunas de las enfermedades más importantes del maíz son: el carbón, la roya, o el anublo, la podredumbre de las mazorcas y la

enfermedad de Stewart. Otros enemigos son ciertos pájaros y animales que se comen las semillas recién plantadas o la cosecha, al madurar.

I.12 Maíz Híbrido

¿Qué es el maíz híbrido? El maíz híbrido es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas. La producción del maíz híbrido involucra: a) la obtención de líneas autofecundadas, por autopolinización controlada; b) la determinación de cuales de las líneas autofecundadas pueden combinarse en cruces productivas y c) utilización comercial de las cruces para la producción de semilla (Lee, 2003).

Los híbridos del maíz comenzaron a desarrollarse a principios del siglo XX cuando George H. Shull y Edward M. East comenzaron deliberadamente la fertilización de una variedad con una característica particular deseable, esta contenía polen procedente de otra variedad que reforzaría o complementaría la característica deseable de la primera variedad. En estos ensayos tuvieron mucho éxito y consiguieron producir híbridos con unos rendimientos cuatro veces por encima de la media (Arnhold, 2008).

Posteriormente se desarrollaron híbridos de doble cruzamiento en los que el polen de un híbrido se cruzó con otro híbrido procedente de otras dos razas para dar origen a un maíz superior.

Este maíz es estéril, de forma que presenta la ventaja adicional para los productores de que los agricultores deben comprar nuevas semillas cada año. Esto puede ser bueno para los productores de semilla pero el uso general de semillas híbridas pone en peligro el suministro de maíz polinizado de forma natural que podría tener interés para los mejoradores de plantas y de esta forma la semilla de variedades nativas de maíz se encuentra almacenada en bancos especiales de semilla (Caplan, 1983).

Los híbridos que producen más de una mazorca maduran en el tallo principal y se denominan prolíficos, mientras que las variedades no prolíficas generalmente producen solo una. Cuando las condiciones de crecimiento son buenas, los híbridos prolíficos tiene menor rendimiento que los no prolíficos; sin embargo, los híbridos prolíficos tienen rendimientos más predecibles y con frecuencia se comportan mejor cuando las condiciones son menos favorables (Mendoza de Gyves, 1994).

Otros híbridos incluyen el tipo súper-dulce que se utiliza para el maíz enlatado y los híbridos de estación más larga (aquellos que requieren períodos más largos de crecimiento) que generalmente presentan los rendimientos medios más altos. Normalmente los híbridos se seleccionan por su tolerancia y rendimiento en condiciones de crecimiento particulares y en consecuencia, se dice que están regionalmente adaptados (a diferencia del arroz, el maíz no puede tolerar la inundación del terreno más de unos días).

Tipo de cruzas en el maíz híbrido:

A. Líneas Autofecundadas. Una línea autofecundada se produce mediante autofecundación y selección, hasta que se obtienen plantas aparentemente homocigóticas. Esto requiere generalmente de cinco a siete generaciones. Como el maíz sufre normalmente la fecundación cruzada, debe controlarse la polinización en cada generación y los estigmas deben polinizarse aplicando a mano el polen colectado en las propias espigas. Una vez que se ha obtenido una línea autofecundada, se puede conservar ya sea mediante su autofecundación o por cruzas fraternales (apareamiento de plantas dentro de la misma línea).

Originalmente las líneas autofecundadas fueron producidas a partir de variedades de polinización libre. Si una planta de maíz de una variedad de polinización libre se autofecunda, su progenie tendrá menor vigor en comparación con la planta progenitora. Con cada autofecundación se observará una reducción adicional del vigor, hasta que se obtenga una línea homocigótica. Aproximadamente la mitad de la reducción total del vigor se registra en la primera generación autofecundada, el resto de la pérdida se registra por mitad en cada generación sucesiva, de tal manera que las reducciones son pequeñas después de 3 a 5 generaciones. Además de la pérdida de vigor, las plantas individuales de las primeras generaciones autofecundadas muestran muchos defectos, como reducción en altura, tendencia a producir chupones, acame, susceptibilidad a enfermedades y una gran variedad de otras características desfavorables (Mora, 2007).

Las plantas anormales se desechan y solamente se autofecundan en cada generación nuevamente las plantas satisfactorias. Entre las líneas se van observando marcadas diferencias en cada generación sucesiva y las líneas más débiles deben desecharse.

Dentro de las líneas las plantas se asemejan cada vez más entre sí; después de 5 a 7 generaciones de autofecundación y de selección rigurosa, se obtienen líneas vigorosas de aspecto uniforme. Cada línea tiene una combinación diferente de genes;

una línea obtenida por autofecundación es una línea pura, que desciende por autofecundación de una planta capaz de reproducirse idéntica a sí misma. Por lo tanto, dentro de una misma línea cada planta sería exactamente igual a las otras (Mora, 2007).

Las características favorables de las líneas autofecundadas, como, por ejemplo, los tallos fuertes y la resistencia a las enfermedades, son transmitidas a las progenies híbridas cuando se cruzan las líneas. Los híbridos más productivos provienen generalmente de cruzas entre las líneas autofecundadas más fuertes y más vigorosas.

La planta original autofecundada se denomina en general S_0 y la progenie obtenida por autofecundación de esta planta se denomina S_1 (primera generación). La técnica de la autofecundación requiere una atención cuidadosa para evitar cruzamiento natural.

B. Cruzas Simples. Una craza simple es la descendencia híbrida de dos líneas autofecundadas. Debido a que las líneas autofecundadas que se utilizan en una craza simple son probablemente homocigóticas, las plantas de la craza simple son heterocigóticas para todos los pares de genes en que difieren las dos líneas autofecundadas. Una craza simple superior recupera el vigor y la productividad que se perdió durante el proceso de autofecundaciones y será más vigorosa y productiva que la variedad progenitora original de polinización libre, de la que se obtuvieron las líneas autofecundadas. No todas las combinaciones de líneas autofecundadas producen cruzas simples superiores. En realidad las combinaciones de líneas autofecundadas que producen cruzas simples de rendimientos sobresalientes son relativamente raras.

El aumento de vigor de una craza simple sobre el promedio de las líneas progenitoras es un fenómeno conocido con el nombre de vigor híbrido o heterosis. El propósito de la sugestión del Dr. Shull en su plan original de producción de maíz híbrido era utilizar el incremento de vigor obtenido por el cruzamiento. Como todas las plantas de una craza simple tienen un genotipo semejante, son más uniformes en cuanto a precocidad y aspecto externo que las variedades de polinización libre.

La técnica de cruzamiento para producir semilla de cruzas simples no es diferente que la que se utiliza para la obtención de líneas autofecundadas. Sin embargo, el polen de una línea autofecundada se utiliza para polinizar la otra línea, produciendo así una craza simple. La elección de la línea que se vaya a utilizar como progenitor masculino, dependerá de cuál de ellas produzca el polen más abundante y de cuál tenga las mejores características de mazorca y semilla. La hembra (productora de semilla) se

desespiga o evita su producción de polen utilizando la esterilidad masculina citoplásmica. Por lo tanto, la hembra es polinizada por la línea macho productora de polen (Mendoza de Gyves, 1994).

La semilla de una crusa simple se produce en una planta autofecundada que ha recibido el polen de una segunda línea autofecundada, la semilla de las cruas simples es generalmente de tamaño pequeño y de forma irregular. Los rendimientos de semilla son bajos debido a que las líneas autofecundadas en las que se produce la semilla son relativamente improductivas. Por este motivo, la semilla de las cruas simples es de producción costosa.

C. Cruas Dobles. La crusa doble es la progenie híbrida obtenida de una crusa entre dos cruas simples, las semillas de una crusa doble se produce en una planta de crusa simple. Esta es la semilla híbrida que generalmente se le vende al productor por lo que éste cultiva plantas de cruas dobles. La crusa doble es un híbrido entre dos líneas progenitoras heterocigóticas de cruas simples y no es tan uniforme como la crusa simple.

vido a que la semilla de la crusa doble se cosecha de una planta productiva de crusa simple, es más uniforme en tamaño y apariencia, se obtiene en mayor abundancia y con mayor economía que la semilla de las cruas simples, que se cosecha en una planta autofecundada. Esta es la razón para hacer la crusa doble (Mora, 2007).

Las cruas dobles pueden obtenerse mediante polinización a mano en la misma forma que se obtienen las cruas simples, o se pueden producir sembrando las dos cruas simples progenitoras en un campo aislado.

Las cruas dobles generalmente se identifican por combinaciones de números o letras. Los híbridos distribuidos conjuntamente por el departamento de Agricultura de USA y las estaciones agrícolas experimentales se identifican por medio de las letras AES (Agricultural Experiment Station). La estirpe de un híbrido de crusa doble indica las cuatro líneas autofecundadas que la forman. Por ejemplo, la estirpe del híbrido U.S. 13, que se cultiva mucho en la Faja del Maíz, es (WF9 X 38.11) X (Hy X L317).

D. Otras Cruas.- Las líneas autofecundadas pueden combinarse en otras formas diferentes de las cruas simples y dobles. La crusa de tres líneas es la progenie híbrida entre una crusa simple y una línea autofecundada. Esta crusa sólo puede utilizarse cuando se dispone de tres buenas líneas. También se puede cruzar una línea autofecundada con una variedad de polinización libre. Esto frecuentemente se

denomina cruza regresiva. Esta cruza se utiliza para probar la capacidad de una línea autofecundada para producir una progenie de alto rendimiento.

Una cruza múltiple es una combinación de más de cuatro líneas autofecundadas. Se ha sugerido como cruza práctica para el agricultor que desee obtener su propia semilla híbrida, una cruza múltiple entre dos cruza dobles comerciales. Dicha cruza utilizaría la semilla producida en cruza dobles comerciales, que es menos cara que la semilla de las cruza simples. Las cruza múltiples son generalmente menos productivas que las mejores combinaciones de cruza dobles, que se podrían obtener con las mismas líneas autofecundadas (Singer, 1993).

Ya se sabe que el cultivo del maíz es bastante vulnerable y fácilmente afectado por plagas, estrés hídrico, etc., por lo que su éxito depende de la intervención del hombre (Figura 9). Con la idea principal del maíz híbrido y con ayuda de los avances en genética y en biología molecular se ha tenido como propósito seguir mejorando los cultivos de maíz, darle mejor aspecto a la planta, hacerla más resistente a sus enemigos, obtener un producto con mayor calidad y en menor tiempo, así como una producción más benéfica; de este modo se ha dado como resultado la obtención de híbridos de maíz transgénico (Poehlman, 1992).



Figura 9. Maíz afectado por el medio y beneficiado por el hombre
Tomado de www.fyo.com/granos/ampliar.asp.

TRANSGÉNICOS

II.1 Definición

El mejoramiento de las especies es la técnica que permite cambiar y mejorar la herencia de las plantas. Dicho mejoramiento se practicó por primera vez, cuando el hombre aprendió a seleccionar las mejores plantas, por lo cual la selección se convirtió en el primer método de mejoramiento de las cosechas. Indiscutiblemente, los resultados de los primeros esfuerzos del hombre en la selección de plantas, constituyeron importantes contribuciones para el desarrollo de muchas de las especies cultivadas independientemente de lo poco consciente que haya estado de sus propios esfuerzos, en ese principio. A medida que sus conocimientos respecto a las plantas iban aumentando, estaba en posibilidad de hacer sus selecciones más inteligentemente.

Al descubrir la sexualidad de las plantas, pudo agregar la hibridación a sus técnicas de mejoramiento. Aun cuando la práctica de hibridación ya se efectuaba antes de Mendel, su importancia en la herencia no fue debidamente comprendida hasta la realización de

los experimentos de Mendel, que establecieron las bases para comprender el mecanismo de la herencia (Lambrecht, 2003).

El mejoramiento de las plantas, depende de la habilidad del fitomejorador para observar en las mismas, diferencias que pueden tener importancia económica. Antes de que los genetistas dispusieran del conocimiento científico con que ahora cuentan, dependía principalmente de su capacidad de juicio para seleccionar tipos superiores. Muchos de los mejoradores fueron muy buenos observadores, reconociendo rápidamente plantas de la misma especie, con variaciones que podían utilizarse como bases para establecer nuevas variedades. Para ellos el mejoramiento fue principalmente un arte; muchos de los primeros fitomejoradores fueron aficionados, agricultores o viveristas, que encontraron plantas fuera de tipo, en el campo o en los viveros. Algunos otros, como Luther Burbank, fueron profesionales que investigaron con mayor profundidad la búsqueda de plantas sobresalientes, que pudieran multiplicarse y explotarse comercialmente (Nossal, 1997).

A medida que progresaron los conocimientos de la genética y de las ciencias agrícolas relacionadas con ella, el mejoramiento de las plantas fue teniendo menos arte y más ciencia. Ya no fue necesario depender completamente en la habilidad de un fitomejorador para encontrar variedades casuales, con las cuales pudiera establecer nuevas variedades. Bajo estas condiciones, ya fue posible planear y crear nuevos tipos más o menos a voluntad. Sus conocimientos científicos, les dieron las bases para manipular y dirigir la herencia de las plantas. Aun cuando la habilidad en el arte de la selección es importante para el fitomejorador moderno, tanto como lo fue para los genetistas del pasado, dicha habilidad por sí misma no es suficiente.

El mejoramiento genético moderno de las plantas se basa en la comprensión y aplicación de los principios de la genética. Exige también el conocimiento de las enfermedades de las plantas y su epidemiología, así como los factores que afectan a la adaptación de las plantas. Sin estos conocimientos básicos precisos, el fitomejorador moderno no podría ni explorar ni comprender la gran variación de los problemas involucrados. Por lo tanto, podría recurrir solamente de igual manera que sus antecesores, a los métodos de acierto o error, que son muy costosos y que requieren de mucho tiempo (Nossal, 1997).

Actualmente estamos viviendo la tercera revolución industrial. La primera surgió de la aplicación de nuevas fuentes de energía a la producción masiva de bienes (máquina de vapor); la segunda, con la transferencia de la teoría de la información a los

procesos industriales. Estas dos revoluciones fueron manifestaciones de la capacidad cada vez mayor del ser humano para controlar y manipular su entorno y dieron como resultado importantes cambios sociales y políticos. La tercera es una revolución científico-técnica o tecnocientífica, e involucra principalmente a la robótica, la computación y la Ingeniería genética (Suaréz, 1989).

En el caso de la ingeniería genética, esta revolución se diferencia de las anteriores ya que involucra a los seres vivos, es decir, está relacionada con el mundo biológico al que pertenece el ser humano; la capacidad de manipular en forma directa los genes que determinan la forma y función de los organismos vivos utilizando medios técnicos sofisticados que tienen repercusiones inmediatas en los seres humanos, particularmente en la producción de alimentos y en la salud. Las nuevas tecnologías surgidas de la ingeniería genética permiten transferir directa y rápidamente el material genético de organismos poco emparentados entre sí, produciendo formas nuevas o variedades en corto tiempo; esta transferencia permite crear organismos con determinadas características deseadas para llevar a cabo ciertos procesos particulares, superando las limitaciones de la reproducción sexual, en la medida en que permite añadir, combinar o quitar funciones de los organismos vivos (Muñoz, 2001).

La ingeniería genética se desarrolló como una rama de la biología molecular. Ésta involucra el estudio de los tres procesos de transmisión hereditaria (duplicación, transcripción y traducción), y el estudio de las tres clases de macromoléculas (DNA, RNA y proteínas). La Ingeniería genética es el conjunto de técnicas que permiten la recombinación del DNA en el laboratorio, se basa en la manipulación directa de los genes o segmentos de DNA que codifican para una determinada proteína, y en la de sus mecanismos de expresión. Esta manipulación y recombinación se puede llevar a cabo debido a la universalidad del código genético que permite utilizar las enzimas de restricción para que corten una determinada secuencia de DNA de cualquier origen, formando sitios idénticos y complementarios con la finalidad de modificar los organismos. La técnica más utilizada es la del DNA recombinante, aunque ya se han desarrollado otras nuevas técnicas con resultados palpables y con implicaciones no sólo económicas o sociales, sino también éticas (Daniell, 2002).

Con el surgimiento de la ingeniería genética se comenzaron a desarrollar los organismos manipulados genéticamente, también llamados transgénicos. El uso de organismos transgénicos para la solución de problemas específicos se inicia hace 25 años. Francisco G. Bolívar Zapata participó en la construcción de los primeros microorganismos transgénicos diseñados con el propósito perfectamente acotado de

producir hormonas humanas recombinantes. Sin el concurso de esta tecnología, de haberse prohibido su uso como se solicitó por muchos, y de manera violenta en algunos casos, no se tendría hoy en las farmacias muchísimas nuevas proteínas humanas recombinantes para el tratamiento de muchas enfermedades: insulina, interferones, factores anticoagulantes de la sangre, anticuerpos humanos contra el cáncer y para detectar enfermedades (Rubio, 2004).

Antes de estas técnicas no se podían obtener industrialmente estos nuevos medicamentos; sólo de cadáveres o tejidos humanos en pequeñas cantidades, no para uso clínico, masivo.

Hace 25 años aparecieron las mismas preocupaciones, que hoy resurgen, en relación con los transgénicos. En particular, que su uso implicaba riesgos desconocidos muy altos, incluyendo los escenarios de poder ser los humanos invadidos y colonizados por estos organismos y por lo cual muchos enfermaríamos y moriríamos de nuevas enfermedades. También, que su liberación en el medio ambiente causaría grandes problemas, contaminando mantos freáticos y generando nuevas enfermedades en animales. Después de 25 años de diseñar, construir y analizar muchísimos organismos transgénicos, nadie puede asegurar que no haya pasado absolutamente nada por haberlos utilizado, pero sí se puede decir que, después de todos estos años, nada grave o importante ha sucedido por la utilización de los transgénicos, y que estos nuevos organismos, totalmente naturales, no sólo han permitido resolver un buen número de problemas sino que han abierto también avenidas novedosas y extraordinarias para satisfacer las necesidades de la sociedad humana y del planeta. Indudablemente, si algo grave o importante pasara por la utilización de los transgénicos, habría que reevaluar la situación, tanto en lo general como en lo particular. Pero como se ha constatado, hasta ahora esto no ha sido el caso, aunque se acepta que la posibilidad existe (Bolívar, 2001).

Desde entonces, hace 25 años, el principio que ha guiado y que ha prevalecido en el uso de esta tecnología, para la solución de problemas específicos, es que debe seguir utilizándose, bajo el principio de analizar el uso de transgénicos caso por caso. Por esto, es fundamental que la nueva ley de bioseguridad adopte este principio.

Se piensa que el llamado enfoque precautorio, el cual implica no utilizar una tecnología dada mientras no se demuestre la ausencia de riesgo, es inadecuado porque, además de que inmoviliza el uso de cualquier tecnología implica riesgo y no se puede

demostrar nunca la ausencia de riesgo cuando se utiliza la biotecnología moderna, lo cual cancelaría su aplicación.

Es este contexto, y ante las recientes controversias que han generado tanto la producción como el uso de los llamados organismos modificados genéticamente, se hace necesario entender de dónde surge el conocimiento y las técnicas que permiten justamente la manipulación genética (Apoteker, 2001).

En conclusión la definición de un organismo modificado genéticamente (abreviado OMG o GMO, del inglés Genetically Modified Organism) es aquél cuyo material genético es manipulado en laboratorios donde ha sido diseñado o alterado deliberadamente con el fin de otorgarle alguna característica específica. Comúnmente se los denomina transgénicos y son creados artificialmente en laboratorios por genetistas (Rubio, 2004).

II.2 Biotecnología

No existe una caracterización universalmente aceptada de la biotecnología, las definiciones que optan por un criterio más restringido ponen el énfasis en las aplicaciones de la ingeniería genética, mientras que las más amplias parecerán extenderlo a todas las tecnologías que involucran a la materia viva. La organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la biotecnología se caracteriza por la aplicación de los principios de la ciencia y la tecnología al tratamiento de organismos por agentes biológicos en la producción de bienes y servicios (Mendoza de Gyves, 1994).

Por su parte, la Office of Technology Assessment (OTA) de USA, la define como el conjunto de técnicas que utiliza organismos vivos o parte de ellos para fabricar o modificar productos, mejorar plantas o animales o desarrollar microorganismos para usos específicos.

Al igual que el fitomejoramiento tradicional, la biotecnología se ha enfocado principalmente en la búsqueda de incrementos en la producción y protección de cultivos agrícolas contra plagas y enfermedades. Sin embargo, los rápidos adelantos de las técnicas de biología molecular han ampliado los horizontes y en el futuro próximo la industria, el ambiente y la salud humana y animal, también se verán beneficiados por la aplicación de estas novedosas técnicas. Con ellas se intenta no

sólo obtener variedades vegetales tolerantes a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas que permitan mejorar los rendimientos, sino plantas capaces de producir insumos de alto valor económico y ambiental. La lista de productos susceptible de obtenerse en plantas transgénicas incluye enzimas, alimentos con alto valor nutritivo, productos farmacéuticos, vacunas y plásticos biodegradables (Bolívar, 2002).

En nuestro país, la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) considera y define como organismo genéticamente modificado (OGM) a aquel en el que cualquiera de sus genes u otro material genético ha sido modificado por medio de las técnicas siguientes:

- La inserción por cualquier método de un virus, del plasma bacteriano u otro sistema vector de una molécula de ácido nucleico, que ha sido producido por cualquier método fuera de ese virus, plasma bacteriano u otro sistema vector, de manera tal de producir una combinación nueva de material genético el cual es capaz de ser insertado en un organismo en el que esa combinación no ocurra naturalmente y dentro del cual será material genético heredable;
- La inserción en un organismo, por microinyección, macroinyección, microencapsulación u otros medios directos, de material genético heredable preparado fuera de ese organismo;
- Donde se involucre el uso de moléculas de DNA recombinante en fertilización *in vitro* que implique la transformación genética de una célula eucariótica.

Esta capacidad de transferir un gen de un organismo a otro emparentado o no, tuvo su origen en los descubrimientos de cómo la información genética es almacenada, duplicada y transmitida a la progenie. En sus aspectos generales, tres han sido los descubrimientos que ayudaron a desarrollar y permitir el crecimiento que ha tenido la biotecnología.

El primero fue el descubrimiento y la descripción de la molécula del DNA. Desde los trabajos de James Watson y Francis Crick, sabemos que el DNA tiene la forma de una doble hélice en espiral, integrada por dos cadenas entrelazadas e interconectadas por sustancias químicas denominadas bases. Asimismo, es reconocido que el DNA es similar en su estructura en todos los organismos vivientes en cuanto a funcionamiento y composición. Un gen es un segmento de DNA que induce a la célula a producir cierta proteína, desempeñar cierta función específica o reproducirse así misma (Etienne, 2004).

El segundo descubrimiento fue que cierto tipo de DNA bacteriano asume la forma de anillos flotantes llamados plásmidos. En la naturaleza, los plásmidos muchas veces son intercambiados por las bacterias. Esta característica los hacía parecer mensajeros ideales para llevar nueva información genética a las bacterias o a las células de las plantas (Etienne, 2004).

El tercer descubrimiento fue el de enzimas especiales, que en la naturaleza cortan y pegan el DNA. Se usan enzimas de restricción para cortar un gen de una molécula de DNA y abrir el plásmido. Ya que los extremos cortados del gen nuevo y del plásmido se atraen unos a otros, la aplicación de otra enzima denominada ligasa, une firmemente en su lugar el nuevo gen. Cuando los plásmidos son mezclados con bacterias *in vitro*, penetran la célula bacteriana y la inducen a producir proteína o realizar algún otro proceso dirigido por el nuevo gen (Etienne, 2004).

Este es el proceso mediante el cual se consiguen, a partir de las bacterias, productos farmacéuticos tales como la insulina. Pero la ingeniería genética en las plantas requiere un paso adicional, hallar un plásmido bacteriano capaz de depositar un nuevo gen en una célula vegetal.

Para ciertos tipos de plantas, la solución se encontró en el *Agrobacterium tumefaciens*. En la naturaleza, esta bacteria transfiere un segmento de su plásmido inductor de tumores al cromosoma de la célula de la planta. Utilizando las técnicas descritas, los genes causantes de la agalla de corona son extraídos del plásmido *Agrobacterium* y un gen nuevo es agregado. Cuando segmentos de tejido vegetal son colocados en medios de cultivo con la bacteria genéticamente modificada, el *Agrobacterium* transfiere el gen nuevo al cromosoma de la planta en forma natural (Figura 10) (Green, 2009).

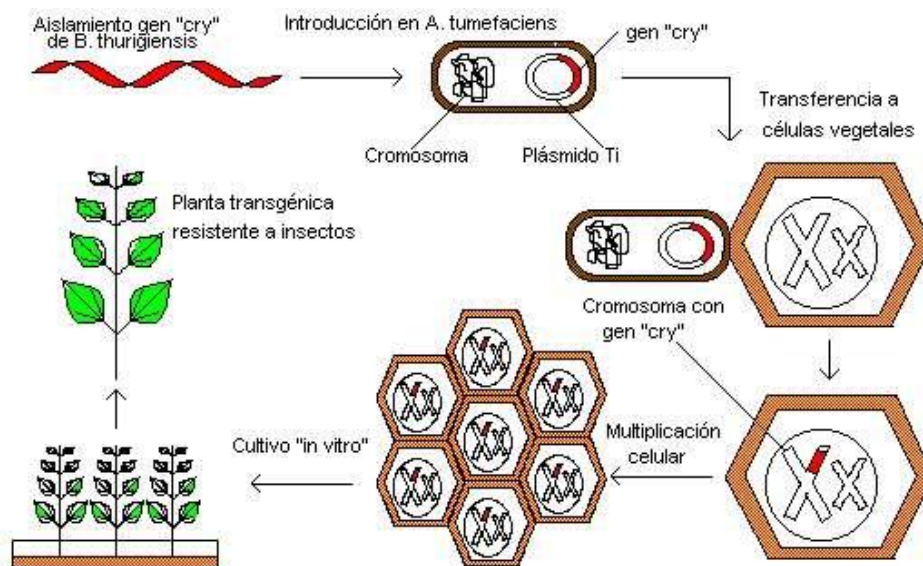


Figura 10. Inserción de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* en una planta
Tomado de Nieto, 1999.

Desde 1983 quedó demostrado que este sistema era apto para su aplicación en plantas de hoja ancha como la soya, que el nuevo gen queda insertado permanentemente en el DNA de la planta y que es transmitido de generación en generación de acuerdo a las leyes de la herencia. Posteriormente se realiza el cultivo de tejidos para la generación de plantas enteras, el objetivo de este es hacer que las células vuelvan a un estado no diferenciado para que los genes puedan ser activados y desactivados en la secuencia indicada para producir una planta entera. El proceso involucra la colocación de las células genéticamente manipuladas (o de fragmentos de individuos de una especie) en medios con hormonas y nutrientes especiales que promueven la formación de callos o tejidos no diferenciados. Formado el callo, el medio es cambiado y se agregan otras hormonas que promueven la formación de hojas y raíces. Luego, la plántula es colocada en tierra en una maceta y cultivada en invernadero hasta llegar a la madurez. Sus semillas son cosechadas y su progenie analizada para verificar la presencia del gen y el atributo agregado por ingeniería genética. Finalmente, se realizan los ensayos de campo, se analizan los atributos agronómicos y se difunde la especie al productor (Kreuzer, 2001).

Desde el punto de vista agrícola, una vez aprobadas todas las normativas internacionales y nacionales se han lanzado recientemente al mercado, cultivos transgénicos de especies tales como maíz, soya, canola, tomate y algodón. En el caso de algunos cultivos, se comercializan desde 1996 principalmente en USA, Canadá y Argentina y estas variedades transgénicas presentan resistencia al herbicida glifosato.

El glifosato (N-fosfonometilglicina, $C_3H_8NO_5P$, CAS 1071-83-6) es un herbicida no selectivo de amplio espectro, desarrollado para eliminación de hierbas y de arbustos, en especial los perennes. Es absorbido por las hojas y no por las raíces. Se puede aplicar a las hojas, inyectarse a troncos y tallos o asperjarse a tocones como herbicida forestal. La aplicación de glifosato mata las plantas debido a que suprime su capacidad de generar aminoácidos aromáticos tales como fenilalanina, tirosina y triptófano.

El glifosato es el principio activo del herbicida Roundup, nombre comercial de Monsanto. Con la siembra directa se aplica la tecnología del Roundup conocida como barbecho químico y este es uno de los productos más consumidos en todo el mundo con tal propósito. El producto luego de tantos años de estar en el mercado, perdería de hecho su patente exclusiva por lo que otros laboratorios (Atanor, Alecy, Almidar, Zeneca, Chemiplant) también pueden comercializarlo. De allí que cuando Monsanto tomó la decisión política y definió el objetivo de continuar con el desarrollo del herbicida, sobre todo a través de la ampliación de sus alternativas de uso en sistemas agrícolas, buscó solucionar su falta de selectividad puesto que su patente expiró en 2000. Por ello patentó en algunos países el evento "40-3-2" en soya, el cual confiere resistencia al glifosato. Las plantas resistentes a glifosato se han obtenido por medio de transgénesis. Así obtuvo una nueva exclusividad por medio de la Ingeniería genética al ser propietarios de las marcas Soyas Roundup Ready y Roundup Max (Wheelwright, 2001).

El Roundup (glifosato) hasta antes de la aparición de las soyas transgénicas debía ser aplicado en presembrado o preemergencia, dado que ataca tanto a las malezas como al cultivo en desarrollo vegetativo. Es absorbido a través del follaje y se transloca por toda la planta vía floema, siguiendo la ruta de los fotosintatos. Los síntomas del control se manifiestan sobre el vegetal entre 2 y 4 días después de la aplicación en especies anuales y de 7 a 10 días en las perennes. El glifosato inhibe en la planta tratada la producción de 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa (EPSP sintetasa), una enzima que es esencial para la generación de tres aminoácidos sin los cuales la planta no puede crecer ni seguir viviendo. Por eso, varias megacompañías han desarrollado cultivos con resistencia al glifosato, principio activo del Roundup (Pengue, 2000).

Los investigadores insertaron genes adicionales para la producción de EPSP sintetasa en las plantas para obtener una sobreproducción de la enzima. La teoría, que resultó ser cierta, era que al producir cantidades adicionales de EPSP sintetasa, las plantas modificadas podrían soportar la supresión de la misma ocasionada por el herbicida y

seguir produciendo los aminoácidos necesarios para su desarrollo normal, mientras que las malezas sucumbirían. A la cabeza del mercado “Roundup Ready” se encuentran las compañías Monsanto y Nidera (Pengue, 2000).

II.3 Técnicas

Con las metodologías del DNA recombinante ahora es posible la producción de organismos modificados genéticamente o transgénicos, en los que se han insertado genes heterólogos mediante su manipulación en el laboratorio. Particularmente en plantas, el poder introducir nueva información genética requiere de que se cumpla con los siguientes dos requisitos:

- a) Disponer de un método para la regeneración *in vitro* de la especie de interés, y
- b) Contar con un método de transformación eficiente para la misma.

Puesto que las técnicas de cultivo de tejidos hacen posible que a partir de cualquier célula o tejido se puedan regenerar plantas completas, su uso resulta indispensable para la regeneración de individuos transgénicos que contengan la nueva información genética. En cuanto a la transformación se refiere, es necesario contar con un método que permita tanto la introducción del material genético que se pretenda incorporar, como su integración estable, funcional y heredable en el genoma vegetal.

Las plantas transgénicas que se han logrado obtener a la fecha, provienen del uso de diversos métodos de transformación genética. Entre ellos se tiene el método biológico y por lo tanto natural, ya mencionado anteriormente, diseñado para la transformación de células vegetales el cual esta basado en el empleo de la bacteria que vive en todos los suelos del mundo la *Agrobacterium tumefaciens* (Figura 11). Debido a que inicialmente se pensó que el sistema basado en *Agrobacterium* sólo se podía aplicar a un número limitado de especies vegetales (ahora se sabe que puede no sólo transformar todas las especies vegetales sino también otros organismos como hongos), surgió la necesidad de desarrollar métodos de transformación genética alternativos. Entre estos métodos alternativos se pueden mencionar protocolos fisicoquímicos de transformación directa, como la electroporación de protoplastos; los tratamientos con polietilenglicol y cloruro de calcio y métodos físicos, como el bombardeo con micro partículas recubiertas de DNA (Inzé, 1987).



Figura 11. Bacteria *Agrobacterium tumefaciens*
Tomado de www.bio.davidson.edu

Estudios orientados a establecer la funcionalidad de genes provenientes de otros organismos en sistemas vegetales mostraron que los genes procarióticos o eucarióticos heterólogos intactos no son reconocidos por la maquinaria de la planta y, por consiguiente, no son expresados. Esto llevó a la conclusión de que la expresión de genes heterólogos en sistemas vegetales sólo sería posible si las secuencias codificantes de los genes foráneos se colocaban bajo control de señales transcripcionales funcionales en plantas.

El primer ejemplo exitoso de la expresión de un transgen en células vegetales fue reportado en 1983 y al año siguiente se obtuvo la primera planta de tabaco transgénica diseñada por Ingeniería genética, tomándose estos avances como el nacimiento de la época del fitomejoramiento agrícola por Ingeniería genética.

La supuesta incapacidad del *Agrobacterium* para infectar plantas monocotiledóneas, limitó por mucho tiempo la transformación de cultivos tan importantes como arroz, trigo y maíz. Este hecho impulsó la búsqueda de técnicas alternativas antes mencionadas que surgieron para la introducción de DNA en las células desprovistas de pared celular (protoplastos), utilizando sustancias permeabilizantes de la membrana plasmática, este es el polietilenglicol, la aplicación de pulsos eléctricos de alto voltaje que abren poros en la membrana (electroporación) y la microinyección, que no es otra cosa que la introducción directa de DNA en el núcleo de las células vegetales. La aplicación de estos métodos ha sido muy limitada, ya sea por las inconveniencias que representa el poder regenerar plantas completas a partir de protoplastos o por lo difícil e impráctico que resulta utilizar la microinyección con fines masivos y comerciales (Herrera y Martínez, 2004).

En cuanto a dificultades para la transformación de cereales estas fueron vencidas cuando, en 1987, se diseñó un acelerador de partículas con el cual es posible

bombardear células o segmentos de tejido vegetal con micro partículas recubiertas de DNA. Este método, también conocido como biobalística, que permitió la transformación de maíz y arroz, también se ha empleado exitosamente para transformar diferentes especies vegetales de gran importancia alimenticia a escala mundial (Herrera y Martínez, 2004).

II.4 Innovación en materia alimenticia y otros productos

Las semillas representan la fuente de alimento más importante en las plantas, ya que contienen proteínas, lípidos y carbohidratos y pueden ser almacenadas y transportadas sin sufrir cambios considerables en sus propiedades nutricionales. Los humanos y los animales no pueden sintetizar 10 de los 20 aminoácidos esenciales y por lo tanto deben obtenerlos como parte de la dieta. La composición de aminoácidos en las semillas es variable y ninguna especie vegetal produce semillas con la proporción óptima de aminoácidos necesarios en la dieta humana. Las fuentes principales de proteínas para una gran parte de la población humana son las semillas de cereales y leguminosas, sin embargo, una característica de éstas es la deficiencia de lisina en cereales y de cisteína y metionina en leguminosas. Aunque una solución a este problema sería el consumo de ambas clases de semillas en las proporciones adecuadas, en el caso de los humanos existen tradiciones y factores económicos que hacen poco práctica esta solución (Bewley, 1983).

Una alternativa consiste en cambiar la composición de las proteínas en algunas semillas ya sea por métodos convencionales de mejoramiento genético o mediante el uso de la Ingeniería genética. Algunos esfuerzos de Ingeniería genética orientados para este propósito son el incremento hasta en 33 % de metionina en las proteínas de las semillas de plantas transgénicas de canola y lupino, mediante la expresión en semilla de una proteína de maíz rica en metionina en estos cultivos. El contenido de lisina en semillas de soya se incrementó hasta en 43 %, mediante la introducción y expresión de un gen sintético que codifica una proteína rica en este aminoácido. Mediante la modificación de las propiedades regulatorias de las enzimas implicadas en la biosíntesis de aminoácidos esenciales se ha incrementado la lisina libre en soya y en canola. Estos éxitos permitirán posteriormente la modificación de otras plantas como maíz, arroz y frijol (Mendoza de Gyves, 1994).

Otra aplicación potencial de la Ingeniería genética en el mejoramiento de la calidad nutricional de los alimentos es la de aumentar el contenido de vitaminas. La deficiencia

en vitamina A es un problema muy importante en varios países, especialmente en Asia, donde 124, 000, 000 de niños padecen deficiencia de esta vitamina lo cual conduce a la ceguera. La aplicación oral de esta vitamina es problemática, debido principalmente a la carencia de infraestructura. Una alternativa es la producción de esta vitamina en la semilla de arroz, el cual es consumido preferentemente en estas poblaciones. Mediante la introducción de 3 genes foráneos en plantas de arroz, ha sido posible la producción de β -caroteno (pro-vitamina A) en el endospermo de las semillas de este cereal (Ye, 2000).

Debido a que el β -caroteno puede ser transformado en el cuerpo humano en vitamina A, este arroz transgénico tiene un enorme potencial de disminuir la avitaminosis que padecen muchos niños en Asia. El cultivo de esta variedad transformada o bien la transferencia de los genes a otras variedades mediante cruzamiento y selección permitirá el cultivo extensivo del arroz dorado (como se conoce comúnmente) rico en pro-vitamina A (Ye, 2000).

En cuanto a los lípidos se considera que los de origen vegetal tienen mejores cualidades nutricionales con respecto a los lípidos animales, principalmente debido a que no contienen colesterol y a que son ricos en ácidos grasos poliinsaturados. Con el propósito de mejorar aún mas la calidad de los aceites vegetales, sobre todo para disminuir la incidencia de enfermedades del corazón causadas por el consumo de grandes cantidades de ácidos grasos saturados, se han obtenido plantas de canola transgénicas, con una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados (40 % de ácido láurico) en estas semillas (Caplan, 1983).

Otro de los graves problemas a los que se enfrenta el manejo de productos agrícolas en el área de fruticultura es el reducido tiempo del que se dispone para el traslado y distribución de frutos frescos desde los lugares de cosecha a los sitios de venta y consumo, teniendo en cuenta que el proceso de maduración de frutos es continuo e irreversible. Por ello, la Ingeniería genética ha intentado retardar la maduración y reducir las pérdidas postcosecha al aumentar la llamada vida de anaquel. Usando genes antisentido es posible transformar plantas y bloquear la expresión de genes importantes en el proceso de maduración, tales como los relacionados en la biosíntesis de etileno (hormona vegetal que dispara el proceso de maduración de muchos frutos) o de enzimas hidrolíticas directamente involucradas en el ablandamiento de los frutos. Usando estas estrategias se han producido tomates, melones y algunos otros frutos cuya vida de anaquel se ha prolongado desde unos días hasta varias semanas. En la actualidad, los tomates de mayor vida de anaquel ya

han sido comercializados por tres diferentes compañías. Esta estrategia tiene un potencial enorme para su aplicación en frutos tropicales, producidos principalmente en países en vías de desarrollo, donde las condiciones de almacenamiento y transporte son deficientes, ocasionando pérdidas severas (Gresshoff, 1997).

Otra de las aplicaciones de la Ingeniería genética que más ha sido explorada tanto en laboratorios públicos como privados es la generación de plantas resistentes a enfermedades. El éxito de esos estudios ha sido variable, por ejemplo, plantas resistentes a más de 30 enfermedades virales han sido obtenidas con éxito, mientras que el desarrollo de resistencia a enfermedades causadas por hongos es aún muy incipiente (Herrera y Martínez, 2004).

Los virus, considerados entidades no celulares compuestos de ácidos nucleicos y proteínas, representan a los agentes fitopatogénicos más devastadores que se conocen porque no existe ninguna medida de control efectiva contra su ataque. Por esta razón, se piensa que el control de las enfermedades virales será el campo donde la Ingeniería genética de plantas puede tener su mayor impacto.

El uso de genes virales y su introducción en plantas ha permitido el desarrollo de resistencia, lo cual se conoce como resistencia derivada del patógeno, este fenómeno ha sido explicado considerando que la planta reconoce un exceso en la expresión de genes virales introducidos y evita su expresión, impidiendo, además, la infección por el virus de la cepa utilizada y cepas relacionadas (Beagle, 2006).

En 1986 se obtuvieron las primeras plantas de tabaco resistentes al virus de mosaico del tabaco usando el gen que codifica para la proteína de la cápside. Utilizando una estrategia similar se obtuvieron plantas de calabacita amarilla y de sandía resistentes a virus. La papaya ha sido severamente atacada por el virus de la mancha anular y los esfuerzos para generar plantas resistentes usando las técnicas convencionales de hibridación han fracasado, por lo que fue necesario transformar plantas con el gen que codifica para la proteína de la cápside de este virus. A partir de 1994, se obtuvieron plantas resistentes al virus y ha sido posible mantener cultivos redituables de papaya en diferentes lugares, como es el caso de Hawai. Actualmente, la papaya y la calabacita amarilla han sido comercializadas. Además, tomates transgénicos resistentes al virus del mosaico del tabaco, papas transgénicas resistentes a los virus X y Y de la papa, y pepinos transgénicos resistentes al virus del mosaico del pepino han sido producidos (Tuzun y Kuc', 1989).

Aunque los hongos producen importantes pérdidas en cultivos de plantas, hay pocos logros sustantivos en la producción de plantas transgénicas resistentes a estos patógenos. La expresión de genes que codifican enzimas capaces de degradar los constituyentes mayores de la pared celular de los hongos (quitina y β -1,3 glucanos) ha sido usada como una estrategia para controlar a estos organismos. La expresión de dos genes que codifican para estas enzimas en plantas de tomate mostró un nivel útil de resistencia al ataque por el hongo *Fusarium*.

En otras investigaciones recientes se han demostrado que los frutos de plantas transgénicas tienen la capacidad de sintetizar y acumular proteínas antigénicas y, por lo tanto, podrían eventualmente ser usadas como vacunas orales contra agentes infecciosos como virus y bacterias. Los objetivos inmediatos son las infecciones gastrointestinales y respiratorias, que representan las principales causas de mortalidad infantil en los países en vías de desarrollo. Muchas enfermedades diarreicas son causadas por bacterias, como *Escherichia coli*, que producen toxinas responsables del cuadro clínico. Los genes de dichas toxinas se han aislado e introducido a plantas de papa lográndose su acumulación en tubérculos. Ratones alimentados con papas transgénicas produjeron niveles elevados de anticuerpos contra la toxina y manifestaron resistencia a la infección. Los ensayos en humanos con antígenos producidos en plantas se encuentran en desarrollo, particularmente con la toxina termolábil de *E. coli*, virus de la hepatitis B y virus de Norwalk; en los tres casos mencionados existen respuestas sistemáticas mucosales inmunes, sin efectos adversos demostrados, lo que permitirá en un futuro próximo su uso como vacunas (Herrera y Martínez, 2004).

Otra investigación reciente dio a conocer la aplicación de la Ingeniería genética en cultivos de maíz para obtener etanol celulósico, esta fue publicada en un artículo de el Nature Genetics, en el cual Marcia Wood muestra que los genetistas George Chuck y Sarah Hake desarrollaron un sistema clave rápido, barato y amigablemente ecológico. Ellos mostraron como las plantas mutantes llamadas Corngrass presentan rasgos que pueden ser adecuados para pasar a otras plantas y lograr su objetivo, que los cultivos de biocombustibles sean superiores (Wood, 2008).

Los científicos están interesados en la capacidad del Corngrass para crear más biomasa, el material de la planta que puede convertirse en biocombustible, en comparación con las plantas de maíz convencional. El fundamento es que el Corngrass forma significativamente brotes llamados cultivadores. Estos crecen desde la base del tallo y hacen sus propias raíces conocidas como raíces aéreas. La ventaja

primordial es que el Corngrass no presenta lignina (componente principal que presenta obstáculos para la producción del etanol celulósico) por lo que la obtención resulta de manera eficiente.

“El Corngrass mantiene sus características más juveniles, incluyendo la ternura de sus hojas” dijo el genetista George C., quien con ayuda de sus colegas encontraron el gen del Corngrass que lleva las instrucciones que la planta utiliza para formar lo que se conoce como un micro RNA que controla al menos 7 genes. Estos 7 genes o más hacen diferente al Corngrass del maíz convencional en términos de biomasa, niveles de lignina y otras características necesarias para crear los cultivos de biocombustibles (Wood, 2008).

En la investigación también participa el biólogo Cristian Tobias quien planea llevar al micro RNA del Corngrass a diferentes tipos de plantas para determinar si aumenta el valor como fuente de bioenergía (Wood, 2008).

II.5 Ventajas

Los beneficios que se han obtenido en los últimos dos siglos a partir de la modificación de diferentes organismos han favorecido la generación y el mejoramiento de diversas tecnologías. Éste sería el caso de la aplicación de la genética al mejoramiento de diferentes cultivos, lo cual ha acelerado el cruzamiento entre diferentes variedades para obtener cultivos mejorados. Más recientemente, la aplicación sistemática de esta forma de selección ha llevado al mejoramiento masivo de diferentes granos básicos, como maíz, arroz, trigo, frijol, soya, etc., los cuales se han introducido en diferentes regiones del mundo. En muchas áreas donde la agricultura es intensiva, esta práctica ha desplazado a las variedades locales (Covarrubias, 2004).

Cabe hacer notar que diferentes variedades seleccionadas por los primeros agricultores, dadas sus características de alto rendimiento o vigor, resultaron ser poliploides, lo cual significa que estas plantas contienen más de los dos grupos de cromosomas con los que normalmente cuenta un organismo superior. Las plantas poliploides han jugado un papel importante en la evolución de los cultivos que ahora consumimos. Éstas pueden surgir espontáneamente en la naturaleza, o bien, se pueden inducir con ciertos químicos específicos. También se pueden generar plantas poliploides como resultado de la combinación de cromosomas de dos especies diferentes. Por ejemplo, las variedades de trigo más modernas son hexaploides en

comparación con sus ancestros que son diploides. En tiempos recientes se tomó ventaja del fenómeno de la poliploidia para generar un híbrido entre dos especies diferentes, trigo y centeno, al cual se le ha llamado triticale. Este híbrido resulto de un intento de combinar las características ventajosas del trigo (*Triticum*), alto rendimiento y alto contenido de proteína en la semilla, con la capacidad de adaptación a ambientes adversos y el alto contenido de lisina del centeno (*Secale*). El cruzamiento intensivo entre la progenie de esta cruce, así como el tratamiento con ciertos químicos, ha permitido la obtención de derivados fértiles de triticale que tiene un alto rendimiento, un alto contenido de proteína, resistencia a limitación de agua, madurez temprana y resistencia a enfermedades (Chrispeels y Sadava, 1994).

En paralelo, avances científicos adicionales han influido en el desarrollo de la agricultura. En los últimos decenios, el desarrollo de la biotecnología vegetal ha inducido un cierto entusiasmo tecnológico que podría impactar las formas en las cuales se obtienen los cultivos que consumimos, la producción de fármacos y algunos otros químicos que se utilizan en la industria de plásticos. Una de las contribuciones más importantes que permitieron el desarrollo de la biotecnología vegetal moderna ha sido el descubrimiento de que es posible obtener plantas completas y funcionales a partir del cultivo de pequeñas piezas de hojas o tallos, o de masas diminutas de células vegetales que se dividen activamente (meristemos), las cuales se encuentran frecuentemente en la punta de tallos o ramas (Cattivelli, 1990).

Esta característica natural de las plantas dio lugar a un método para multiplicar plantas *in vitro* al cual se le conoce como propagación clonal, ya que las plantas se obtienen a partir de una clona o grupo de individuos genéticamente idénticos. El uso de esta metodología permite obtener millones de plantas, esencialmente idénticas, a partir de una sola, en periodos cortos de tiempo. La clonación de plantas por técnicas de cultivo de tejidos estableció las bases para la industria de la micropropagación. Así, se han generado diferentes tipos de cultivos de meristemos. En algunos casos, este cultivo da lugar a masas indiferenciadas de células que se conocen como callos, los cuales bajo ciertas condiciones generan estructuras embrionarias llamadas embriones somáticos. Estos embriones se pueden desarrollar normalmente y dar lugar a tallos que más tarde forman raíces y finalmente producen una planta completa. A la fecha, muchas especies vegetales han sido programadas por ambos métodos (Mendoza de Gyves, 1994).

En particular, ha sido exitoso en la generación de plantas ornamentales, pero también se aplica a ciertas plantaciones agrícolas como papa, fresa, palma de aceite, plátano, algunas plantas medicinales y algunos árboles.

El hecho de que es posible obtener especies elite que pueden ser multiplicadas rápidamente representa una ventaja obvia de la micropropagación, particularmente en el caso del mejoramiento de especies arbóreas y de los programas para reforestación. Otra ventaja de la micropropagación es que es posible obtener plantas libres de enfermedades (virus, bacterias u hongos) las cuales pueden ser utilizadas como materia prima para plantar. Es así como los productores de papa y fresa, entre otros, generalmente, obtienen cada año su material para siembra (Hernan, 2002).

Las técnicas de cultivo de tejidos también permiten cultivar los callos bajo ciertas condiciones, en medio líquido, de tal manera que se puede establecer un cultivo de células vegetales en suspensión. Esta clase de cultivos ofrece la alternativa de producir ciertos compuestos de origen vegetal que pueden ser usados como fármacos, cosméticos, saborizantes o agroquímicos (Cocking, 1986).

A la fecha, los diferentes métodos de transformación han permitido modificar y regenerar un número importante de especies vegetales (Figura 12) incluyendo cereales (arroz, maíz, trigo, cebada, avena), fibras (algodón), algunas leguminosas y semillas aceitosas (lino, canola, soya, girasol, chícharo), hortalizas (zanahoria, coliflor, apio, pepino, lechuga, melón, petunia, papa, tabaco, tomate), pastos (alfalfa, trébol, pasto de jardín) y algunos árboles (manzano, nogal, álamo) (Chrispeels, 2003).



Figura 12. Transformación y mejoramiento de algunos vegetales.
Tomado de www.iespalomeras.net/.../imagenes-web/dibujos/.

Se han identificado muy pocos genes que pueden ser utilizados eficientemente en el mejoramiento de cultivos de importancia agronómica, entre éstos se encuentran la introducción de genes de origen bacteriano que codifican para proteínas con actividad insecticida. Las plantas que las expresan o producen son resistentes al ataque de ciertos insectos, ya que la larva del mismo se muere por intoxicación al comerse trozos de sus hojas o raíces. De manera similar sería posible obtener plantas modificadas en caracteres agronómicos en los que sólo estuviera involucrado un sólo gen, tales como la resistencia a ciertos patógenos. Sin embargo, en mucho de los caracteres de importancia agronómica están involucrados numerosos genes. Tal es el caso de la resistencia a diferentes condiciones de estrés ambiental como sería la sequía, las altas temperaturas, el congelamiento, las altas concentraciones de sales, la acidez del suelo, la inundación, etc., tal y como se mencionaron en la capítulo 1.

Aún cuando la Ingeniería genética, aplicada a la biotecnología agrícola, representa una oportunidad para acortar el tiempo invertido en el mejoramiento, la obtención de plantas con características de resistencia a factores del medio ambiente aún representa un reto a salvar por su naturaleza multigénica. A la fecha se han logrado avances considerables en cuanto al conocimiento de algunos de los mecanismos básicos involucrados en la respuesta adaptativa de ciertas especies vegetales y, con ello, a la identificación de diferentes genes que pudieran ser útiles en conferirle a la planta algunas características de tolerancia (Hails, 2000).

Algunos ejemplos de ello son: genes de origen bacteriano como *bet A* que codifica para la colina deshidrogenasa, enzima que participa en la síntesis de glicin-betaína, y el cual incrementa la tolerancia a salinidad cuando se sobrexpresada en plantas de tabaco, *coda A* que codifica para la colino-oxidasa que también participa en la síntesis de glicin-betaína, y que confiere tolerancia a salinidad y a bajas temperaturas en plantas transgénicas de *Arabidopsis* y arroz; *mtl D* cuyo producto es la manitol-fosfato-deshidrogenasa, involucrada en la síntesis de manitol, que confiere cierto grado de tolerancia a salinidad y sequía en tabaco y *Arabidopsis*. (Schoof, 2004).

Entre los genes de origen vegetal están, el *p5cs* que codifica para la pirrolín-carboxilato sintasa, enzima que participa en la síntesis de prolina y cuya sobreexpresión ectópica, aparentemente, genera tolerancia a salinidad y sequía en tabaco y arroz, y a estrés osmótico y calor en soya; entre los genes que codifican para ciertas proteínas abundantes en semillas secas, conocidas como proteínas LEA, la sobreexpresión ectópica de *COR15a* y *Hva1* incrementa los niveles de tolerancia a sequía y salinidad en *Arabidopsis*, arroz, trigo y avena.

También se ha reportado un efecto favorable, en cuanto a la tolerancia a sequía y congelamiento, de la expresión regulada de ciertos factores transcripcionales que regulan la expresión de los genes involucrados en la respuesta a limitación de agua (Haberer, 2005).

Este último caso pareciera ser el que ha dado lugar a un mejoramiento más significativo desde el punto de vista agronómico, al menos en el caso de canola. Así, a pesar de la sobre expresión ectópica de algunos de los genes identificados como participantes de la respuesta a déficit hídrico o a otras situaciones ambientales estresantes, son capaces de conferir ciertos niveles de tolerancia a algunas condiciones de agobio, los niveles de tolerancia que se alcanzan en algunas plantas modelo, como *Arabidopsis* o tabaco, bajo condiciones controladas de laboratorio, no necesariamente se reflejan en otras plantas de interés agronómico, o bien en las mismas especies, una vez que éstas se someten a condiciones naturales de estrés en el campo, si consideramos que para el agricultor la resistencia a un factor estresante implica, al menos, mantener la productividad del cultivo (Haberer, 2005).

Lo mencionado no subestima el hecho de que la biotecnología agrícola moderna ofrece un vasto número de posibilidades para generar diversas estrategias para el mejoramiento de los cultivos, por lo cual el impacto aumenta también en las prácticas para la producción y procesamiento de alimentos. Incluso se invierten esfuerzos en desarrollar el llamado cultivo de moléculas en el que las plantas pudieran ser utilizadas para la producción de volúmenes pequeños de productos con un alto valor agregado, como vacunas y otros fármacos (Daniell, 2001, Pridmore, 2000).

En resumen, la nueva biotecnología agrícola posee el potencial de aliviar algunos de los efectos negativos de la agricultura intensiva al poder generar plantas resistentes a algunos insectos, hongos, bacterias o nemátodos, lo cual consecuentemente reduciría el uso de pesticidas y, por tanto, los niveles de contaminación por estos químicos tóxicos. También pudiera ayudar a obtener cultivos que utilicen mejor el nitrato o el fosfato del suelo, en cuyo caso disminuiría la contaminación por nitrato de los mantos freáticos. Como todas las tecnologías, no en todos los casos la biotecnología agrícola moderna haría de la agricultura una actividad ambientalmente amigable o segura (Covarrubias, 2004).

II.6 Efectos no deseados y riesgos

Los recientes avances en genética y en biología molecular han dado como resultado la obtención de híbridos de maíz transgénicos. Los primeros híbridos de maíz genéticamente modificados contenían información genética a partir de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*, que hacía que estas plantas produjeran una toxina capaz de matar al barrenador del maíz. Desgraciadamente, esta toxina no era completamente específica de forma que también era tóxica para insectos útiles como *Chrysoperla carnea* que se alimenta de áfidos. La existencia de este híbrido modificado genéticamente está causando preocupación porque su cultivo general podría producir barrenadores del maíz resistentes a la toxina. La introducción de cultivos genéticamente mejorados no han sido universalmente bien acogidos. Esta preocupación, que puede o no estar justificada, pero que se ha instalado con el paso del tiempo tanto en los científicos como en los ciudadanos. Ciertamente el uso de marcadores antibióticos tales como la ampicilina en los primeros híbridos genéticamente mejorados no se ha continuado ya que existía el riesgo de poder producir resistencias incontroladas a los antibióticos en algunos microorganismos patógenos (DeWald, 1995).

Como siempre sucede, el surgimiento de nuevas tecnología despierta inquietud, tanto entre la comunidad científica, como entre el público en general. El uso generalizado de los productos de la Ingeniería genética no podría ser la excepción. Un ejemplo lo tenemos en las campañas que grupos ambientalistas han realizado en contra de los productos de la biotecnología, por lo que la Unión Europea determinó que a partir del 31 de julio de 1997 quedaba prohibida la entrada a sus países de plantas transgénicas generadas en otros países, aunque tal parecería que existe un componente económico en esta decisión (López-Munguía, 2000).

Una clara muestra del compromiso mundial de atender la problemática de la bioseguridad con respecto a las plantas transgénicas y otros organismos es el proceso de negociación de un protocolo sobre bioseguridad para el movimiento fronterizo de organismos genéticamente modificados en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Este proceso inició en 1994 y las dos primeras rondas de negociación tuvieron lugar en Montreal, Canadá (1998) y Cartagena, Colombia (1999).

Un análisis de los riesgos y beneficios debe hacerse considerando el cultivo de plantas transgénicas y plantas no transgénicas para valorar y ponderar si los riesgos ecológicos son mayores, menores o iguales. En el año 2000 hicieron un análisis del

debate que existe actualmente entre los defensores y detractores de las plantas transgénicas y sugiere que el mejor árbitro en la toma de decisiones debe ser el análisis científico por medio de ensayos de campo, donde se analicen las diversas variables ecológicas que pueden ser alteradas. En principio, el análisis de los beneficios y riesgos de las plantas transgénicas debe considerar el fenotipo que se está modificando en la planta, ya que cada uno de los casos debe tratarse de manera diferente.

Otra inquietud se refiere a que los genes de resistencia a antibióticos, utilizados como marcadores de selección en el proceso de producción de plantas transgénicas, pudieran pasar a los microorganismos que habitan el tracto digestivo del ser humano y generarse agentes patógenos resistentes a dichos antibióticos. Particularmente este temor es infundado, ya que varios estudios realizados para evaluar esta posibilidad mostraron que no ocurre, o sucede con una frecuencia extremadamente baja. En comparación, ha sido muy bien documentado que el intercambio genético entre diversas bacterias es común y la transferencia de genes de resistencia a antibióticos es frecuente, por lo que en todo caso, existe un riesgo mayor en el uso generalizado e indiscriminado de antibióticos que se utilizan en los hospitales, ya que esto permite la selección de bacterias patógenas portadoras de genes de resistencia a muchos antibióticos.

Más extrema aún ha sido la preocupación que han externado algunos grupos sobre la posibilidad de que el consumo de genes sea dañino a la salud o que los genes de plantas transgénicas pudieran incorporarse a las células del ser humano y causar cáncer.

La posibilidad de que la proteína codificada por un gen introducido en plantas transgénicas tenga una función adicional a la esperada es ciertamente real. Existe evidencia creciente de que muchas proteínas tienen funciones totalmente distintas a las que se les conocía, por lo que es necesario realizar un análisis profundo de las plantas transgénicas que se pretende liberar en el medio ambiente y ser consumidas por humanos. Sin embargo, es necesario señalar que, con el creciente conocimiento de las funciones de los genes de plantas derivadas de la caracterización de los genomas de las mismas, la mayoría de las variedades transgénicas que se producirán en el futuro serán derivadas del uso de genes de origen vegetal y probablemente del uso de genes de la misma planta, por lo que los potenciales de riesgos derivados de funciones no conocidas de genes incorporados a variedades transgénicas sería

equivalente a lo que sucede de manera natural cuando se generan nuevas variedades de plantas por mejoramiento genético convencional (Fedak, 1992).

Como ya bien se sabe que el mejoramiento genético permite seleccionar aquellas plantas que poseen los genes más deseables desde el punto de vista agronómico con la finalidad de reproducirlas para su siembra y cosecha y aun cuando este mejoramiento ha sido durante siglos el principal método para el mejoramiento agrícola, y ha permitido seleccionar variedades con características específicas a partir de variantes naturales, presenta algunas desventajas. Una de las más evidentes es el hecho de que cuando se cruzan, en particular especies que se autopolinizan, éstas se vuelven más homocigotas (más homogéneas genéticamente) que sus progenitores, de tal forma que conforme los genes de interés son más homocigotas en la población, aquellos genes indeseables, que en los progenitores estaban enmascarados por estar en una forma heterocigota, ahora se expresan. Estas observaciones indican que el mejoramiento de los cultivos no necesariamente depende de la introducción de nuevos genes, éste se puede dar por ganancia o pérdida de función, o bien por una combinación de ambas (Poehlman, 1987).

Aun cuando la nueva tecnología agrícola representa un potencial considerable, ésta no representa la solución a los problemas a los cuales se enfrenta la agricultura mundial. Cabe puntualizar que la integración de esta metodología, aunque reducirá el tiempo del proceso de mejoramiento, no elimina la aplicación de los procedimientos usados en los métodos de mejoramiento tradicional, ya que en muchos casos será necesario transferir el gen de interés de una variedad transformable a otra no transformable, o bien a otra que posea características agronómicas adicionales. Por otro lado, compartiría todos los problemas asociados al estilo de agricultura que se ha implantado en el mundo (Charles, 2001).

La agricultura convencional es una práctica que depende enormemente de una inversión elevada y de insumos tecnológicos. Algunos de los avances tecnológicos han llevado a que el agricultor minimice los costos de producción por unidad; sin embargo, su utilización es altamente dependiente de subsidios gubernamentales o de investigación realizada en industrias del sector. De hecho, muchos de estos avances han llevado a una disminución de las oportunidades de trabajo en el campo, a favor de más empleos en las ciudades en donde se producen los insumos, maquinarias y químicos. En este sistema, los bajos costos de producción, que en algunos casos se refleja en alimentos más baratos, impacta a los consumidores y al negocio agrícola; sin embargo, los inconvenientes recaen sobre toda la sociedad.

Las consecuencias negativas de estas prácticas son, principalmente, la contaminación por fertilizantes y pesticidas y la degradación o erosión de la tierra, entre otras. De ahí que exista una preocupación importante y surjan dudas sobre el balance de beneficios contra perjuicios de la agricultura intensiva la cual no preserva sino daña el medio ambiente y por tanto se considera una actividad no sustentable. Desafortunadamente, este tipo de práctica es la que domina y se promueve en las áreas cultivables del mundo desarrollado y no desarrollado (Padilla, 2002).

II.7 Poder comercial

En todo el mundo, los cultivos transgénicos son presentados por sus promotores, la industria biotecnológica y los científicos financiados por ella, como la nueva revolución tecnológica que traerá múltiples beneficios para la humanidad; como ya se sabe prometen que aumentará los rendimientos en las cosechas y disminuirá el uso de agroquímicos, que producirá cultivos tolerantes a enfermedades, a sequía y suelos salinos, así como alimentos más nutritivos. Anuncian que será la solución para el hambre y la desnutrición en el mundo. Se enorgullecen de que es un fenómeno global porque en 6 años el área cultivada con transgénicos se multiplicó por 30, pasando de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a 52.6 millones de hectáreas en 2001 (Trueba, 2006).

Recientemente, un representante de la Organización de la Industria Biotecnológica (BIO siglas en inglés), escribía, “hay una razón por la que los cultivos mejorados mediante la biotecnología moderna han sido adoptados mucho más rápido que lo nunca antes visto en la historia de la agricultura, la biotecnología da resultado, y lo que le da al producto es mayor libertad de elección, mayores ganancias y mayor sostenibilidad. De hecho, donde los propios agricultores se han podido expresar, la libertad de elección ha definido el ritmo meteórico de adopción de las variedades biotecnológicas” (Giddings, 2002).

La realidad de los algunos transgénicos, sin embargo, ha contradicho estas promesas, y el análisis riguroso de las estadísticas muestra aspectos que la industria biotecnológica y los científicos financiados por ella se empeñan en desconocer.

Esto no se trata de un fenómeno global, sin embargo, los cultivos transgénicos no muestran aceptación por parte de la vasta mayoría de los agricultores que producen una gran diversidad de cultivos alimentarios a lo largo y ancho del mundo. Pues no

han aumentado los rendimientos más que marginalmente en casos específicos y por cortos periodos de tiempo. En la mayoría de los casos no han disminuido el uso de plaguicidas, lo han aumentado. La industria biotecnológica ha debido invertir enormes sumas en propaganda para forzar la aceptación de una tecnología introducida en el mercado prácticamente por una sola compañía multinacional, en regiones geográficas muy limitadas (Ribeiro, 2002).

La realidad de los cultivos transgénicos muestra:

- ❖ Sólo cinco empresas dominan la totalidad del mercado de semillas transgénicas plantadas comercialmente en el mundo hasta 2002: Monsanto, Syngenta (Novartis + AstraZeneca), DuPont, Bayer (incluida Aventis) y Dow. (BASF se incorporó posteriormente). Estas cinco compañías están entre las 6 mayores productoras de agroquímicos del mundo, controlan 70 % del valor de ese mercado a nivel mundial. Dos de ellas están simultáneamente entre las 8 farmacéuticas más grandes del mundo.
- ❖ Apenas cuatro cultivos de exportación (soya, algodón, canola, maíz) responden por casi la totalidad de semillas transgénicas cultivadas en el mundo.
- ❖ Tres países, USA, Argentina y Canadá, tienen 96 % del área total de cultivos transgénicos, y si agregamos a China, se alcanza 99 %.
- ❖ Dos características de modificación genética totalizan el área plantada comercialmente en el mundo; 77 %, es decir, más de las tres cuartas partes de los cultivos transgénicos plantados comercialmente en 2001 estaban manipulados con una sola característica: la tolerancia a herbicidas patentados por la compañía que vendió las semillas. El resto, 15 % fueron manipulados para ser plantas insecticidas, introduciéndoles el gen de la toxina de la bacteria *Bacillus thuringiensis (Bt)*, y el 8 % restante fue una combinación de ambas características.
- ❖ Solo la empresa Monsanto vendió 91 % de las semillas transgénicas plantadas comercialmente hasta diciembre de 2001.

Lo que mejor describe los cultivos transgénicos desde su introducción comercial en 1996 es la agricultura industrial, la concentración corporativa y la uniformación. Más que libertad de elección, se trata de un virtual monopolio del mercado de semillas

transgénicas, introducido en mercados prácticamente cautivos, donde la agricultura industrial ha establecido relaciones de fuerte dependencia de los agricultores con las compañías semilleras y de agroquímicos, por medio de sistemas de contratos y otras formas de dependencia estructural, tales como condicionamientos de compra, créditos o préstamos (Ribeiro, 2002).

II.8 Legislación

La legislación de la autorización, comercio y consumo de los organismos modificados genéticamente surge de la necesidad de evitar una nueva crisis alimentaria.

Con un conveniente seguimiento y normas reguladoras de este tipo de productos se pretende poder garantizar la seguridad alimentaria de los consumidores así como preservar el derecho a la elección libre de un producto que contenga transgénicos, o sus derivados, u otros productos que carezcan de ellos y tengan otro origen.

La legislación vigente sufrió su última modificación el 18 de octubre del 2003 en el cual se instauran 2 reglamentos nuevos:

Reglamento 1829/03. En el se hace referencia a los alimentos y piensos cuya procedencia pueda ser de organismos modificados genéticamente. Las obligaciones de etiquetado derivadas de este reglamento han sido exigidas a partir del 18 de Abril de 2004 (Artículo 49), salvo para aquellos productos cuyo proceso de fabricación haya comenzado antes de tal fecha (Artículo 46.2).

Basado en este reglamento los alimentos y piensos modificados genéticamente son los que se describen en el artículo 2.6 y 2.7 del mismo como:

Artículo 2.6 del Reglamento 1829/03:

- Alimento que es OMG. Ejemplo, Brote de soya modificada genéticamente.
- Alimento que contiene OMG. Ejemplo, una ensalada con brotes de soya modificada genéticamente.
- Alimento producido a partir de OMG. Ejemplo, aceite de maíz procedente de maíz modificado genéticamente; chocolate con lecitina de soya procedente de soya modificada genéticamente.

Artículo 2.7 del Reglamento 1829/03:

- Pienso que es OMG. Ejemplo, maíz modificado genéticamente.

- Pienso que contiene OMG. Ejemplo, pienso compuesto que contiene maíz modificado genéticamente.
- Pienso producido a partir de OMG. Ejemplo, harina de soya modificada genéticamente; gluten de maíz producido a partir de maíz modificado genéticamente.

Reglamento 1830/03. Relativo a la trazabilidad y al etiquetado de organismos modificados genéticamente y a la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos.

Los Reglamentos 1829/03 y 1830/03 citados introducen nuevas obligaciones en el sistema de control de los alimentos modificados genéticamente y sus derivados, así como estipulan:

- La obligación de informar al cliente cuando se comercializa un OMG o un derivado de OMG y la obligación de trazabilidad para todos los eslabones de la cadena alimenticia.
- La obligación de etiquetado en donde los alimentos modificados genéticamente deben etiquetarse, incluso si no contienen ya trazas de DNA ni de proteína derivada de la modificación genética.

El formato del etiquetado será el siguiente:

En la lista de ingredientes que componen el producto se introducirá la leyenda:

Modificado genéticamente o producido a partir de [nombre del ingrediente] modificado genéticamente.

- La citada leyenda debe aparecer o en la lista de ingredientes, entre paréntesis, e inmediatamente después del ingrediente afectado, o en una nota a pie de la lista de ingredientes, siempre que el tamaño de la letra sea al menos el mismo que el de los ingredientes de la lista.

El proceso de aprobación para comercio y usos en alimentación /piensos de OMG es el siguiente:

- Primero se realiza una evaluación para sopesar los riesgos posibles del consumo del producto o sus derivados. Esta evaluación la realiza la EFSA (European Food Safety Authority) después de que la solicitud de autorización

haya sido enviada por un Estado Miembro, a quien se dirige la empresa o país que quiere introducir su producto modificado genéticamente.

Este procedimiento no incluye los criterios agronómicos sobre las semillas originales y entraña una evaluación única científica a cargo de los comités científicos de la autoridad europea de seguridad alimentaria; más concretamente los estudios realizados corren a cargo de la Red Europea de Laboratorios para la detección de OMG, creada con el fin de aunar criterios y homogeneizar técnicas de detección que antes eran diferentes.

La evaluación sigue los criterios recogidos en los reglamentos 1829/03 y 1830/03 de manera que existen 2 tipos de análisis:

- 1) Aprobación para el consumo del OMG: se analizan posibles riesgos toxicológicos para la salud o bienestar en personas y ganado, y
- 2) Aprobación para el cultivo del OMG: además de sopesar riesgos toxicológicos en ganado y humanos se realiza un control y verificación de riesgos ambientales de manera que se pueda garantizar la preservación de variedades no transgénicas (contaminación biológica).

La Autorización se hace según el procedimiento e independientemente de que la autorización sea para un producto, un ingrediente, un aditivo, un aroma, etc., quedará autorizado o vetado para todos los usos probables del OMG (alimentación humana /alimentación animal)

- Si el informe científico es favorable se pasa a la espera de aprobación por parte del Comité Europeo que será el que finalmente dé el visto bueno al OMG. Esta autorización tiene una validez de 10 años prorrogables.

Por su parte la Organización Mundial de la Salud comenta al respecto:

Los diferentes organismos OMG incluyen genes diferentes insertados en formas diferentes. Esto significa que cada alimento GM y su inocuidad deben ser evaluados individualmente, y que no es posible hacer afirmaciones generales sobre la inocuidad de todos los alimentos GM. Los alimentos GM actualmente disponibles en el mercado internacional han pasado las evaluaciones de riesgo y no es probable que presenten riesgos para la salud humana. Además, no se han demostrado efectos sobre la salud humana como resultado del consumo de dichos alimentos por la población general en los países donde fueron aprobados. El uso continuo de evaluaciones de riesgo en

base a los principios del Codex y, donde corresponda, incluyendo el monitoreo post comercialización, debe formar la base para evaluar la inocuidad de los alimentos GM.

La Administración de Fármacos y Alimentos Estadounidense (FDA) aprobó en febrero de 2009 por primera vez el uso clínico de un primer medicamento obtenido usando animales genéticamente modificados. Se trata de Atryn, una forma recombinante de la hormona humana antitrombina, que se obtiene de la leche de cabra (*Capra aegagrus hircus*) modificada genéticamente. La droga, que previene la formación de coágulos sanguíneos en personas víctimas de deficiencia congénita de la hormona, ya había sido aprobada por la Unión Europea en 2006.

Recientemente en Alemania fue prohibido el maíz transgénico MON 810 de Monsanto al comprobarse tras varios estudios, que produce una sustancia tóxica para el medio ambiente y que podría resultar perjudicial para el consumo humano y animal.

Un argumento frecuentemente establecido en contra de los alimentos transgénicos es el relacionado con la gestión de los derechos de propiedad intelectual y/o patentes, que obligan al pago de regalías por parte del agricultor al mejorador. Además, se alude al uso de estrategias moleculares que impiden la reutilización de la semilla, es decir, el empleo de parte de la cosecha para cultivar en años sucesivos.

En cuanto a la posibilidad de patentar las plantas transgénicas, éstas pueden no someterse a una patente propiamente dicha, sino a derechos gestionados por la Unión Internacional para la Protección de Nuevas Variedades de Plantas. Brasil, España, Bolivia y Chile se encuentran en esa unión, siendo un total de 66 en diciembre de 2008, entre los países no participantes destaca USA (Gómez, 2000).

II.9 Puntos de vista éticos y sociales

Es importante comentar que mucho se ha discutido sobre los aspectos éticos de la producción y uso de las plantas transgénicas y su posible efecto en la biodiversidad.

Aunque este debate está lejos de terminar y de que se tenga un consenso sobre si es ético o no usar esta manipulación artificial del genoma de las plantas para crear satisfactores, hay varios aspectos que deben mencionarse:

- 1) El ser humano lleva cerca de 10,000 años manipulando el genoma de plantas y animales, tanto para la producción de alimentos como por motivos de recreación.
- 2) El genoma de todos los organismos es altamente dinámico y el intercambio de genes entre diferentes especies ocurre de manera natural. Tal vez en este aspecto, el ejemplo más dramático sea el mismo origen de las plantas; los organismos fotosintéticos superiores tuvieron origen en la evolución mediante un proceso de endosimbiosis entre una bacteria fotosintética y una célula eucariótica, que significó la transferencia masiva de genes de origen bacteriano al genoma de la célula eucariótica.
- 3) La agricultura es probablemente la actividad humana más altamente nociva para la biodiversidad nativa por una o pocas especies cultivadas y el uso de compuestos químicos como son los fertilizantes, pesticidas y herbicidas, que contaminan el medio ambiente.

Teniendo en cuenta éstos y otros factores se debe determinar si el uso de plantas transgénicas pueden ayudar a establecer una agricultura menos dañina al medio ambiente y la biodiversidad, así como hacer un análisis sobre el balance costo-beneficio que representaría el uso de plantas transgénicas. Para hacer esto es importante que se tomen en cuenta tanto los potenciales beneficios económicos del uso de esta tecnología en cada país, así como sus posibles repercusiones tanto sociales como culturales.

Por lo que respecta a los alimentos derivados de plantas transgénicas, se utiliza como criterio para su consumo lo sugerido por la FAO y la OMS, que se refiere a la equivalencia sustancial por la que se comparan las propiedades del alimento transgénico con respecto al no transgénico, y cuando no existen diferencias en sus propiedades nutritivas y alergénicas se sugiere la aprobación del alimento transgénico para el consumo (Herrera y Martínez, 2004).

En cuanto a las compañías que producen herbicidas, estas han invertido en la generación de plantas que toleran herbicidas, generalmente, el herbicida para el cual tienen el mercado más grande. Así que si se continúa con un enfoque como éste para controlar el crecimiento de hierbas en los campos de cultivo, esto aumentará el uso de químicos en la agricultura y, con ello, la consecuente contaminación.

Una situación similar, que afectaría la conservación del medio ambiente y el equilibrio de nuestros ecosistemas, pudiera ser el que esta tecnología llevara al uso

indiscriminado, guiado por intereses económicos, de ciertos ecosistemas que antes no habían sido utilizados, como pudieran ser los desiertos o las zonas de playa. Así que no es difícil llegar a la conclusión de que si se continúa estimulando una agricultura intensiva, el escenario más probable en el futuro será que la biotecnología agrícola moderna reforzará la tendencia hacia una agricultura industrial, altamente dependiente de químicos y de altos niveles de insumos (Covarrubias, 2004).

Este análisis lleva a la conclusión de que las sociedades del mundo deben enfrentar el reto de decidir la dirección que las prácticas agrícolas deben tomar en el futuro. Por tanto, sería importante definir si queremos una mayor industrialización que dependa de inversiones millonarias, o bien si preferimos una mayor sustentabilidad que requeriría de menos insumos externos. En este contexto, podríamos considerar a la biotecnología agrícola moderna como cualquier otra tecnología que, dado los incentivos apropiados, y en combinación con prácticas tradicionales, pueda conformar sistemas agrícolas más eficientes y sustentables. De hecho, cabe recalcar que el hambre en el mundo no es un problema que se resolvería tan fácil con esta tecnología, como algunos claman; ya que los sistemas agrícolas actuales producen suficientes alimentos (Conner, 2003).

La razón de la persistencia del hambre en el mundo reside en otras causas que obviamente no se discutirán. Aun cuando es verdad que el crecimiento de la población mundial tiende a incrementarse de forma alarmante y esto lleva a la preocupación de si el ser humano será capaz de producir la cantidad de alimentos suficiente, la solución de este problema no recae necesariamente o solamente en la producción de alimentos, si no también en su distribución adecuada, entre otras cosas (Conner, 2003).

Todo tipo de preocupaciones deben ser consideradas para poder establecer políticas gubernamentales dirigidas a contrarrestar problemas agrícolas locales que favorezcan a la gente y al equilibrio mundial más que a la economía de algunos (Covarrubias, 2004).

GENÉTICA DEL MAÍZ

III.1 Evolución del teozintle hacia el maíz

La naturaleza alogámica del maíz, 7,000 años de domesticación y cultivo, con diferentes tecnologías en diversos suelos, en áreas dispersas de altitudes y latitudes, por grupos étnicos muy diferentes, el peregrinar del hombre y los factores naturales evolucionistas (mutaciones, selecciones, cruzamientos e hibridaciones) han contribuido a la evolución del maíz y a la formación de múltiples razas y variedades que manifiestan amplia variación en plantas, mazorcas y granos (Solis, 1998).

La evolución natural, efectiva pero lenta, se ha acelerado con la intervención del hombre indígena que lo domesticó, del agricultor que lo ha seleccionado y cultivado por siglos y por los científicos y técnicos que en los últimos cien años lo han tratado de mejorar al desarrollar variedades e híbridos altamente productivos. El maíz primitivo es muy diferente al actual. El que el indígena domesticó, producía plantas muy amacolladas, con tallos ramificados, similar a diversos pastos, con flores masculinas y femeninas, mezcladas, pero separadas, con panojas terminales; plantas que producían mazorcas muy pequeñas de 3 a 6 cm de longitud, de 4 a 8 hileras de granos pequeños, duros, palomeros, tunicados y de colores oscuros. Estos maíces primitivos son completamente distintos a los maíces comerciales actuales (Figura 13).



Figura 13. Mazorcas de maíz de diversas razas
Tomado de Reyes, 1990.

El teozintle, se ha confundido con maíz silvestre. No existe maíz silvestre, ya que la domesticación ha sido tan compleja que si no se cultivara, el maíz se extinguiría. Hay amplia información indicando que en Chalco, México y en Jalisco, el teozintle crece como maleza entre los cultivos comerciales de maíz; que hay cruzamientos naturales recíprocos entre los dos géneros ocurriendo la introgresión en el maíz, de germoplasma de teozintle y tripsacum, siendo por lo tanto, otro factor importante en la evolución (Figura 14).

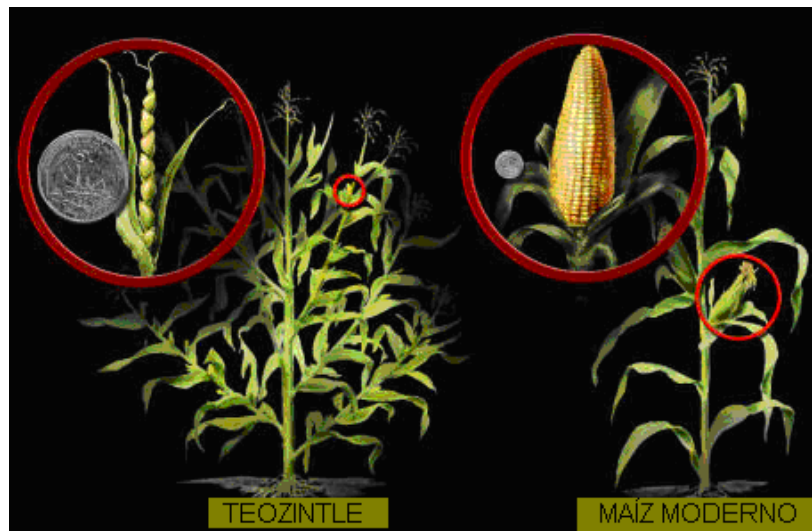


Figura 14. Comparación de la evolución del teozintle al maíz moderno

Tomado de www.semillasdevida.org.mx.

Hay suficiente evidencia indicando que en la evolución del maíz, en donde se mejoró el rendimiento del grano y caracteres deseables, han intervenido muchos factores actuando independientemente o interactuando dos o varios. Entre esos factores se pueden citar:

- La naturaleza alogámica del maíz.
- La ocurrencia de mutaciones casuales favorables y fijadas por la selección natural, conjuntamente con la selección artificial, realizada por el agricultor durante siglos y en los últimos cien años por los mejoradores (científicos y técnicos).
- La presencia de barreras naturales, regiones montañosas, montes, mares, continentes, etc., que propiciaron el aislamiento y la inducción a la formación de variedades o razas altamente diferenciables.
- Introgresión de genes del teozintle y/o del tripsacum.
- Cruzamientos casuales inter e intravarietales o raciales.

- La selección natural y/o artificial que fijó genotipos favorables de las hibridaciones y cruzamientos anteriores.
- El peregrinar humano que llevó consigo semillas de maíz que sembró o abandonó en los lugares de adopción y que la naturaleza alogámica del maíz propició el cruzamiento natural.
- La explotación del vigor híbrido y las tecnologías del maíz híbrido que los americanos dispersaron en los últimos 40 años hacia Sudamérica, Europa Central, la URSS, Sudáfrica y Australia; técnicas que revolucionaron la producción comercial del maíz.

El maíz actual procede de un maíz tunicado, descendiendo del teozintle, bien sea por selección, mutaciones o por hibridación con otra gramínea. Es el producto del cruzamiento de un teozintle silvestre con otro cultivado; es un híbrido natural entre el teozintle y una gramínea afín, ya extinguida. El maíz, el tripsacum y el teozintle son tres gramíneas emparentadas y por tanto, descienden de una sola planta (Reyes, 1990).

Aparte de ser un híbrido trigenérico de: maíz tunicado, teozintle y tripsacum, también es un híbrido asiático, producto del cruzamiento de Coix y Sorghum.

La aplicación del fenómeno vigor híbrido o heterosis que desarrolló el maíz híbrido se inicia en USA y se dispersa en Sudamérica, Europa, África, Asia y Oceanía. De esta manera, mientras en el Siglo XVI se cultivaba el maíz en América, actualmente se produce en 134 países del mundo (81.7 %), lo cual indica la amplia diversidad de climas, suelos, tecnologías bajo las cuales se cultiva, y la diversidad morfológica y genética de la especie (Pengue, 2000).

El maíz es una planta de fecundación cruzada o alegama, se clasifica botánicamente como de la familia Gramínea y tribu Maydeae. Esta incluye ocho géneros, tres de América; *Zea* (maíz), *Euchlaena* (teozintle) y tripsacum, todos estrechamente emparentados; cinco de origen asiático. De acuerdo a su polinización y fecundación, el maíz es altamente vulnerable al cruzamiento. Un cultivo de maíz puede recibir polen de otro maíz distante un kilómetro o más en torno de él. Lo anterior implica la formación de poblaciones heterogéneas y heterocigóticas, altamente variables (Bewley, 1983).

Los factores que han favorecido y acelerado la variación y evolución del maíz son: las migraciones humanas, las mutaciones, la selección natural o artificial, el aislamiento y

la endogamia, el cruzamiento entre variedades diferentes y la hibridación con *tripsacum* o con teozintle.

La suma de los efectos independientes de cada factor o su interacción a través de muchas generaciones, durante siglos, originó poblaciones de plantas adaptadas a un área pequeña, de clima determinado. Este grupo de plantas o variedad agrícola comparten en común una combinación de caracteres o de genes, se reproducen entre sí de la misma manera y están sujetas a las mismas fuerzas de selección y variaciones hereditarias. Algunos grupos de plantas o variedades se adaptaron a una amplia área geográfica o a una región de clima y suelos definidos; este grupo de variedades similares constituyen una raza de maíz (Gutiérrez, 1950).

Durante el proceso evolutivo, los agricultores seleccionaron las variedades del grano de maíz de acuerdo a su utilización. Como se mencionó en el capítulo 1 se formaron maíces con grano duro cristalino o Flint; de grano harinoso, de grano palomero (everta), de grano dentado, de grano dulce y de grano cereo. Se puede decir que para una región agrícola existen tantas variedades como productores de maíz.

Los indígenas domesticaron e iniciaron la selección del maíz, contribuyendo relevantemente en la formación de variedades y razas; los agricultores las han conservado por siglos y los científicos las han estudiado y clasificado para su conservación, mantenimiento y mejoramiento.

Se ha venido mencionando el termino raza y este se puede definir como las poblaciones de individuos de una misma especie con genotipos similares, que manifiestan ciertos rasgos diferenciales, heredables y que a su vez, permiten separarlas de otras poblaciones. La formación de razas diferentes se origina por distintas modalidades de aislamiento que restringen la reproducción a un cierto número de individuos; estas barreras generalmente son ecológicas en naturaleza. Dentro de una raza hay un alto número de variedades (Reyes, 1990).

Las variedades agronómicas son producto de la selección humana que tiende a formar grupos de plantas similares con tendencia a su explotación económica. Las variedades se cruzan libremente y forman poblaciones diferenciales. Existen tantas variedades, tal vez como productores, en una región agrícola. Algunas las seleccionan por su precocidad, por altura de planta, color de frutos, etc. El nombre común de una variedad es por su lugar de origen o son denominaciones autodescriptivas. Hay variedades nativas y son aquellas que se originaron en un lugar determinado y ahí

evolucionaron; las variedades criollas son las introducidas y adaptadas a las condiciones existentes en el lugar de adopción, que multiplicándose libremente y por selección natural o dirigida han logrado producciones aceptables para los agricultores (Reyes, 1990).

Clases de semillas de maíz que siembran los productores en la actualidad:

1. Variedades criollas. Nombres diversos, ejemplo: hoja morada, olote delgado, Carmen, Santa Engracia, Brebe de Padilla, etc.
2. Variedades mejoradas. En los programas de mejoramiento genético con símbolo V-número. Ejemplo: V-424, V-520C, V-524, etc.
3. Variedades sintéticas. Con símbolo VS-número. Ejemplo: VS-201, VSNL-1, etc.
4. Variedades híbridas. Con símbolo H-número. Ejemplo: H-352, H-507, H-422, etc.
5. Generaciones avanzadas de híbridos (F_2 , F_3 , F_n) o Híbridos acriollados.
6. Cruzas naturales recíprocas entre maíces criollos con variedades mejoradas (criollos hibridados).
7. Híbridos naturales de las diversas clases de semillas descritas con teozintle.

Como anteriormente se dijo no hay variedades de maíz silvestre, el hombre lo ha domesticado tanto que no se ha encontrado en ese estado, si el maíz cultivado se abandonara, desaparecería. Se ha informado haber localizado maíz silvestre, pero se ha confundido con teozintle perenne (Florescano y Moreno, 1966).

Nombre de las razas de maíz en México (Figura 15).

A. Indígenas antiguas

1. Palomero toluqueño
2. Arrocillo amarillo
3. Chapalote
4. Nal-Tel

B. Exóticas Pre-columbinas

5. Cacahuacintle

- 6. Harinoso de ocho
- 7. Olotón
- 8. Maíz dulce
- C. Mestizas prehistóricas
 - 9. Cónico
 - 10. Reventador
 - 11. Tabloncillo
 - 12. Tehua
 - 13. Tepecintle
 - 14. Comiteco
 - 15. Jala
 - 16. Zapalote chico
 - 17. Zapalote grande
 - 18. Pepitilla
 - 19. Olotillo
 - 20. Tuxpeño
 - 21. Vandefío
- D. Modernas incipientes
 - 22. Chalqueño
 - 23. Celaya
 - 24. Cónico norteño
 - 25. Bolita
 - 30. Apachito
- E. Serranas occidentales
 - 26. Tablilla de 8
 - 27. Bofo
 - 28. Gordo
 - 29. Azul (Reyes, 1990).

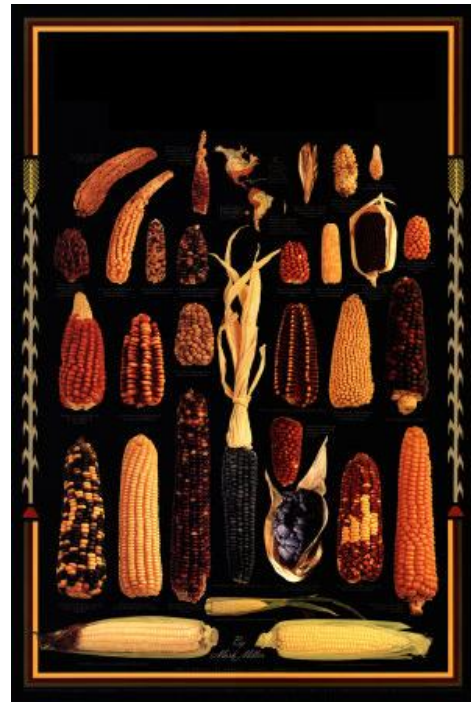


Figura 15. Razas de maíz en México
Tomado de Reyes, 1990.

III.2 Mutaciones en el maíz

El maíz tiene muchas variedades. Algunas de estas variedades tienen granos incoloros, mientras que otras los tienen de color púrpura. El color púrpura, que representa la condición ancestral, es debido a la presencia de una sustancia púrpura conocida como antocianina en la aleurona de las semillas. Otras variedades de maíz presentan diversas coloraciones, este tema fue estudiado por R. A. Emerson, de la Universidad de Cornell, y por otros genetistas.

Se observó que el cruzamiento de dos variedades de maíz con granos incoloros producía una F_1 con granos de color púrpura. La F_2 estaba compuesta por granos incoloros y granos púrpura en proporción 9:7.

(Figura 16) Se muestra un esquema de estos cruzamientos. Para explicar estos resultados se postuló que para producir antocianina la planta debe poseer alelos dominantes en dos loci distintos. Las plantas homocigóticas para los alelos recesivos de uno de estos loci presentarían semillas incoloras. Bajo esta hipótesis, cada locus controla un paso esencial de la producción del pigmento. Si falta una de las reacciones bioquímicas no se producirá antocianina. Cuando actúan de este modo dos o más loci decimos que las acciones de estos genes independientes son complementarias (Pierce, 2006).

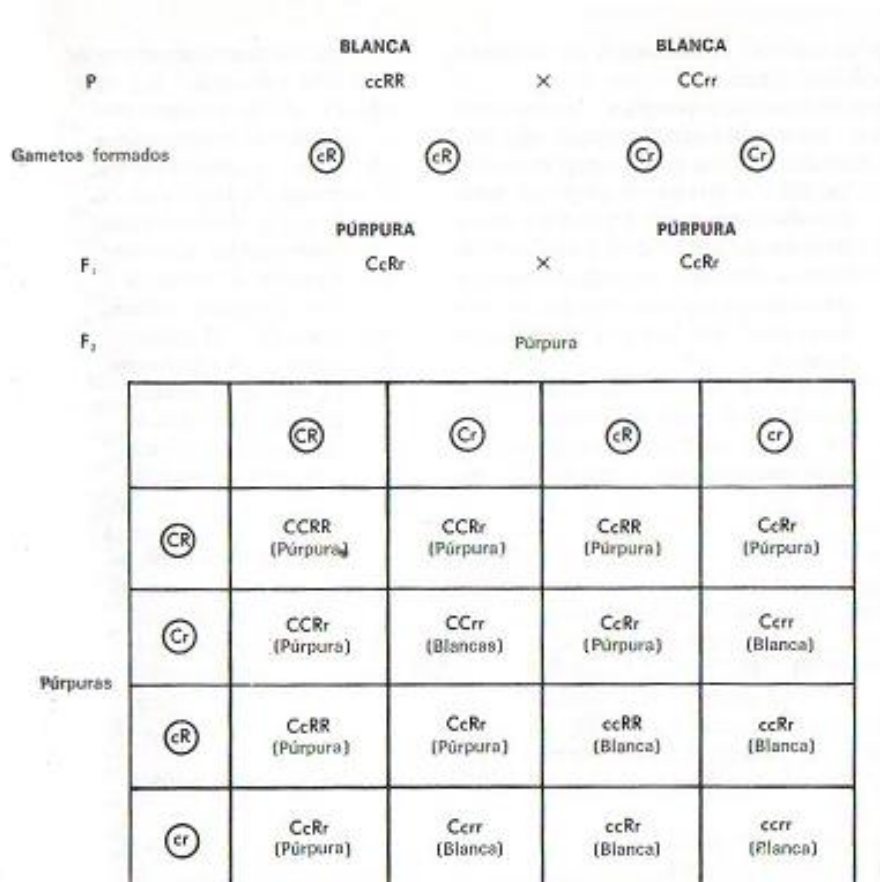


Figura 16. Proporción 9:7, en la composición de la F_2 de un cruzamiento de dos plantas de maíz con semillas incoloras que produjeron una F_1 con semillas púrpura.

Tomado de Pierce, 2006.

La transmisión hereditaria del color de las semillas del maíz ilustra varios puntos interesantes. La situación en que dos semillas incoloras pueden ser homocigóticas para dos genes distintos muestra de nuevo que dos fenotipos idénticos pueden ser originados por genotipos distintos. Esta situación es un caso en que intervienen caracteres recesivos y no una dominancia sencilla. Esto pone en relieve el problema de deducir el genotipo a partir del fenotipo y nos muestra las precauciones que se deben tomar en el momento de formular los modelos genéticos. Otro punto de referencia es la observación de que los cruzamientos entre algunas variedades dan lugar a progenies que se parecen a un antecesor remoto. Los organismos producidos han sido denominados atavismos o reversiones. A falta de una explicación satisfactoria, los primeros criadores creyeron que alguna fuerza misteriosa causaba la retención y la reaparición subsiguiente de un carácter ancestral remoto. Pero en la actualidad se puede decir que en la evolución de las distintas variedades de estos organismos se perdieron ciertos alelos. El cruzamiento de dos variedades produce una descendencia cuyo genotipo contiene todos los alelos de la cepa ancestral, y de este modo tiene lugar la reversión hacia el tipo ancestral.

Los alelos también presentan cambios en la frecuencia de la población como muestra un artículo publicado en el Springer Science Business Media donde se examinó el efecto de los ciclos de selección recurrente sobre los cambios en la frecuencia de los alelos para observar el rendimiento de los granos en la progenie de selección autofecundada por medio del Maksimir 3 sintético (M3S) el cual se desarrollo por el cruzamiento de líneas puras y sometió a la población a ciclos recurrentes de la progenie de selección autofecundada para dicho rendimiento.

En la selección de M3S se planeo aplicar la prueba de selección para mejorar el comportamiento heterocigoto de la población. En la prueba de selección cruzada se esperó que se acumularan los alelos favorables, que son complementarios y estos incrementaron la probabilidad de explotación de los alelos únicos o raros en los programas de mejoramiento (Sarcevic, 2007).

Los genes participan en la modificación de organismos y estos aumentan las tasas de mutación de otros genes recibiendo el nombre de genes mutadores. Un ejemplo de gen mutador fue el descubierto en el maíz por M. M. Rhoades en 1938. En el maíz, el alelo dominante de un gen A_1 , localizado en el tercer cromosoma, controla la producción de antocianina. El alelo recesivo de un gen a_1 , produce plantas verdes y semillas incoloras cuando se halla en homocigosis. En condiciones normales, estos alelos mutan con poca frecuencia uno en el otro. Pero en presencia del gen dominante

Dt en el noveno cromosoma, el gen a_1 muta con gran frecuencia hacia el alelo del gen A_1 . El gen dotted (moteado) tiene dos alelos, *Dt* y *dt*, que por sí solos no producen efectos visibles. El alelo recesivo *dt* no afecta a la tasa de mutación de a_1 , o de cualquier otro gen, y el alelo dominante *Dt* no afecta a la tasa de mutación de otro gen que no sea a_1 . La mutación de a_1 en A_1 ocurre en las células germinales y somáticas de la planta. Las mutaciones somáticas se manifiestan en forma de rayas púrpura en las hojas verdes y de puntos púrpura en las semillas blancas. Los puntos de las semillas son todos pequeños y aproximadamente del mismo tamaño, lo que indica que las mutaciones de a_1 en A_1 , inducidas por el gen *Dt*, se produjeron todas en una etapa tardía del desarrollo y aproximadamente en el mismo momento (Mendoza de Gyves, 1994).

La aparición de mutaciones en el tejido triploide del endosperma de las semillas nos concede una oportunidad excelente para estudiar los efectos de dosificación que puedan tener estos genes. Por medio de los cruzamientos adecuados se pueden obtener en el tejido endospermico varias combinaciones fenotípicamente diferenciables del gen a_1 . Así, por ejemplo, cada uno de los genotipos siguientes da lugar a un fenotipo único: $a_1a_1a_1$ (incoloro), $a_1a_1a_2$ (ligeramente pigmentado) y $a_1a_2a_2$ (más pigmentado). En cada caso, una mutación de a_1 en A_1 dará lugar a una clara mancha púrpura. Las semillas con los genotipos descritos fueron obtenidas en combinación con el genotipo *Dt dt dt*. El número de manchas de color formadas en estas semillas se acercaba a la proporción 3:2:1, lo que indica que la frecuencia de mutación es proporcional al número de genes a_1 . Análogamente se pueden obtener semillas con una, dos o tres dosis de *Dt* en combinación con un solo gen a_1 . El número de puntos púrpura observado por semilla es el siguiente:

dt dt dt produce 7.2 puntos por semilla
dt Dt Dt produce 22.2 puntos por semilla
Dt Dt Dt produce 121.9 puntos por semilla

Estos resultados indican que el número de mutaciones aumenta exponencialmente al aumentar el número de genes dotted (Pierce, 2006).

III.3 Genes móviles

Hace más 50 años, Bárbara McClintock trabajaba en los laboratorios de Cold Spring Harbor, en Long Island, Nueva York, donde estudiaba la genética del maíz, *Zea mays*

(Figura 17). En sus trabajos con granos de maíz (cada uno de los cuales es una planta de maíz en estado embrionario), estaba efectuando análisis genéticos de las diferencias en color y otras variaciones, similares a los llevados a cabo con *Drosophila* en el laboratorio de Morgan. Durante estos estudios encontró casos de inactivación génica repentina e inexplicable. Basándose en estudios de mapeo cromosómico y citológicos, pudo deducir que estos cambios de función génica no se debían a mutaciones, como anteriormente se describió, sino que ocurrían como consecuencia del movimiento de elementos genéticos de un lugar a otro en el cromosoma, a los que llamó elementos de control. Estos elementos, dijo, en realidad saltaban de un sitio a otro en un cromosoma y aún de un cromosoma a otro (Curtis, 2006).



Figura 17. La Bióloga Bárbara McClintock.
Tomado de Curtis, 2006.

Sus hallazgos, publicados por primera vez en 1951, fueron ignorados durante largo tiempo. El suyo era otro extraño relato de un viajero, que no encajaba en el esquema de las cosas como se las entendía entonces. Ferozmente independiente, sin someterse a nadie, según las palabras de James Watson, ella prosiguió con tenacidad su investigación, en algunas ocasiones trabajando gratuitamente. Era divertido, dicen que ha dicho, difícilmente podía esperar a levantarme por la mañana (Fedoroff, 1992).

Bárbara McClintock, quien recibió el premio Nobel en 1983, continuó con su trabajo hasta poco antes de su muerte, en 1992. Realmente han existido tres grandes figuras en la historia de la genética, hacía notar James Watson en un homenaje realizado un año antes. Las tres emes: Mendel, Morgan y McClintock. Gregor Mendel y Thomas Hunt Morgan nos han enseñado lo regular que es el genoma y Bárbara McClintock nos ha enseñado lo irregular que es (Curtis, 2006).

A los elementos que McClintock decía que en realidad saltaban se les conocen como genes saltarines (elementos genéticos móviles). Un elemento móvil genera un corte en un cromosoma en el sitio de una inserción y produce el movimiento de un locus génico hacia un lugar diferente en el cromosoma (transposición). Durante los últimos 25 años se encontraron elementos móviles en cada organismo en el que se buscó: bacterias, *Drosophila*, el nematodo *C.elegans* y los mamíferos, incluido el hombre. Estas observaciones generaron el concepto de un genoma dinámico que de ningún modo está fijo ni es inmodificable. En el hombre también se demostraron mutaciones causadas por los elementos móviles insertados dentro de los genes (Étienne, 2000).

McClintock observó no sólo en algunos granos mutaciones estables (granos de maíz violeta), sino también puntos pigmentados finos o algo más gruesos (vetas), causados por mutaciones inestables (Figura 18).

Un gen en el locus C produce un pigmento violeta de la aleurona en las células del maíz. Cuando un elemento móvil (*Ds*) inactiva este locus génico, el maíz no tiene color. Si el *Ds* se remueve por la transposición, la función del locus C se restaura y aparecen pequeños puntos pigmentados.

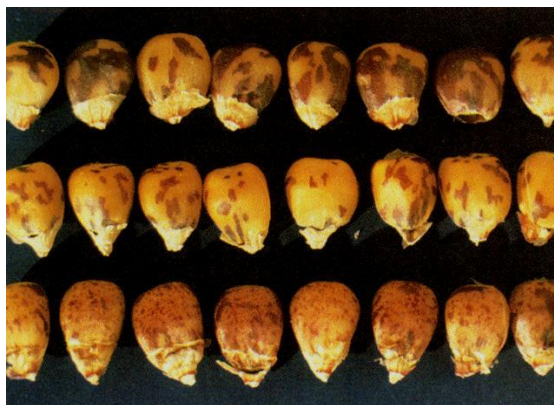


Figura 18. Mutaciones en el maíz.
Tomado de Passarge, 2000

El locus también puede presentar un grado de dominancia para un rendimiento superior en el maíz así como se muestra en un artículo publicado en Genetics Society of America en donde el genetista Antonio A. Franco García y su equipo desarrollaron un diseño para estimar el grado de dominancia del locus de carácter cuantitativo (QTL) y para el estudio de la heterosis (Arnhold, 2006).

En la investigación se desarrolló primero un mapeo de múltiples intervalos (MIM) que proporciona una plataforma para el diseño llamado III con lo cual estiman el número,

las posiciones genómicas, los aditivos aumentados, los efectos de dominancia, así como las interacciones epistáticas del QTL. Se aplica el método a dos conjuntos de datos, una para el maíz y el otro para arroz. Los resultados muestran que la heterosis en maíz se debe principalmente a la acción del gen dominante.

La heterosis o vigor híbrido es un fenómeno en el que un híbrido F_1 tiene un rendimiento superior sobre sus parientes. La utilización de la heterosis es responsable del éxito comercial del cultivo de plantas en muchas especies y conduce a la utilización generalizada de los híbridos en varios cultivos y especies hortícolas. El maíz es el ejemplo más notable de éxito en la industria comercial (Stuber, 2007).

La hipótesis de la dominancia sugiere que los alelos de uno de los parientes sean dominantes sobre los alelos de otros parientes y debido a la cancelación de efectos nocivos en múltiples locus, el híbrido F_1 es superior al de los parientes. El objetivo de esta investigación es estudiar las bases de la genética de la heterosis en maíz, principalmente, y arroz ya que son buenos ejemplos económicamente importantes y que son de polinización cruzada y de autopolinización en cultivos; se cree que las conclusiones de este estudio pueden ser útiles para los mejoradores de plantas y genetistas.

El diseño III ha sido ampliamente utilizado en programas de mejoramiento. Esperando que los resultados presentados puedan hacer una contribución importante (Franco, 2008).

Como lo definió McClintock, un activador (locus *Ac*) es un elemento que puede activar a otros locus, disociación (*Ds*), y causar una ruptura en el cromosoma. Mientras que *Ac* puede moverse de manera independiente (transposición autónoma). *Ds* sólo puede moverse hacia otro lugar del cromosoma bajo la influencia de *Ac*, *Ds* luego es removido por algunas de las células, y el locus *C* vuelve a funcionar con normalidad. Como las células del maíz son de origen clonal, el tiempo de transposición influencia el fenotipo. Si la transposición se produce en etapa temprana en el desarrollo, los puntos pigmentados son relativamente grandes; si se presenta tardíamente, los puntos son pequeños.

Los elementos génicos móviles de acuerdo con su efecto y estructura molecular, son clasificados en: secuencias de inserción simples (SI) y transposones, más complejos (Tn). Un transposón contiene genes adicionales, por ejemplo, para resistencia a antibióticos en bacterias (Mendoza de Gyves, 1994).

La transposición es un tipo especial de recombinación por la que un segmento de DNA de alrededor de 750 pb a 10 kb puede moverse desde una posición a otra, tanto en la misma molécula de DNA como hacia otra. La inserción se produce en el sitio de integración (1) y requiere una ruptura (2) con la integración subsiguiente (3). Las secuencias a cada lado del segmento integrado en el sitio de integración son repeticiones directas. En ambos extremos, cada elemento SI o transposón lleva repeticiones invertidas cuyos largos y secuencias nucleotídicas son características de los distintos elementos SI y Tn. La expresión directa significa que hay dos copias de una secuencia orientadas en la misma dirección (TTAG a cada lado del transposón integrado). Las repeticiones directas e invertidas son evidencia de la presencia de un elemento génico móvil. Una célula de *E. coli* contiene un promedio de diez copias de este tipo de secuencias. También se hallaron en levaduras, *Drosophila* y otras células eucariontes (Pierce, 2006).

Los elementos génicos transponibles son segmentos de DNA que son capaces de insertarse, más o menos al azar, en otros segmentos de DNA. Tales elementos génicos parecen ser omnipresentes en la naturaleza y no sólo se han encontrado en bacterias y arqueobacterias, sino también en eucariontes tales como levaduras, *Drosophila*, nemátodos, maíz y células de mamíferos. Parece probable que los elementos genéticos transponibles jueguen un papel significativo en la evolución.

En las bacterias se conocen tres clases de elementos transponibles:

I.- Secuencias de inserción (SI), que son fragmentos relativamente cortos de DNA (600 – 2,000 pares de bases; pb) que codifican solamente una función, necesaria para que la SI cambie de lugar de inserción (transposición).

II.- Transposones, que son fragmentos de DNA algo mayores (2,500 – 40,000 pb) que no solamente codifican una función de transposición, sino también otras funciones, como resistencia a productos químicos, producción de bacteriocinas, capacidad metabólica concreta, etc. Entre los transposones se incluyen el *Tn5*, que codifica la resistencia a la kanamicina y la neomicina, el *Tn10*, que codifica la resistencia a la tetraciclina y el *Tn3*, que codifica la resistencia a la ampicilina.

III.- Ciertos bacteriófagos, como el Mu, que son capaces de integrarse en el genoma del hospedador esencialmente al azar.

Los elementos génicos transponibles poseen diversas propiedades que les hacen especialmente valiosos como herramientas en los estudios genéticos y en biología molecular. Por ejemplo, si un elemento transponible se inserta en un gen, produce una mutación. Estas mutaciones por inserción tienen características de interés que a continuación se presentan:

I.- Suelen ser mutaciones que producen una pérdida total de la función. La inserción de varios miles de pares de bases de DNA, del elemento transponible, en la región de codificación de un gen, es una forma excelente de inactivarlo.

II.- La mayoría de las mutaciones por inserción tienden a ser polares. Esto es, si dos o más genes están organizados en un operón (conjunto de genes contiguos que son leídos por la RNA polimerasa desde el mismo promotor), entonces una mutación por inserción en uno de los genes del operón se inactiva y en la mayoría de los casos, también a los genes siguientes.

III.- Los transposones llevan normalmente marcadores genéticos seleccionables positivamente, como la resistencia a diversos productos químicos, de forma que las mutaciones generadas por inserción de un transposón se pueden mapear y manipular genéticamente de una manera fácil. Por ejemplo, si se origina una mutación *his* (mutación en un gen que codifica una enzima de la biosíntesis de la histidina) por inserción del transposón *Tn5*, la mutación *his:Tn5* puede mapearse fácilmente y emplearse en la construcción de nuevas cepas, simplemente siguiendo la resistencia a la kanamicina, codificada por el *Tn5*.

La inserción de un transposón en un gen trae consigo la introducción física de un nuevo fragmento de DNA en ese gen; el DNA introducido puede detectarse mediante varias técnicas físicas, como análisis de fragmentación por endonucleasas de restricción, Southern blotting y análisis de heteroduplex con microscopía electrónica (Athma, 1992).

Con el fin de utilizar transposones como el *Tn5* para generar mutaciones por inserción, es necesario introducir el transposón en la célula, de forma que se puedan seleccionar los mutantes en los que el transposón se ha insertado en el DNA celular.

La estrategia general que se ha empleado es la introducción del transposón en la célula como parte de una molécula de DNA mayor, que es incapaz de replicarse en el hospedador. Esta molécula mayor puede ser un bacteriófago o un plásmido. Por

ejemplo, si el *Tn5* se encuentra en un bacteriófago que lleva una o más mutaciones ámbar, el fago puede crecer fácilmente en cepas que lleven un supresor ámbar. Por tanto, si se infecta una célula que carece de supresor ámbar con este fago y se seleccionan las células por su resistencia a la kanamicina, los únicos mutantes obtenidos serán aquellos en los que el transposón *Tn5* se ha transferido del DNA del fago al DNA celular. En otro ejemplo, si se integra el transposón *Tn5* en un plásmido que se puede replicar en un hospedador como *E. coli*, pero no en *Rhizobium meliloti*, las inserciones de *Tn5* en *R. meliloti* pueden seleccionarse transfiriendo el plásmido de *E. coli* a *R. meliloti* y luego seleccionando las colonias resistentes a kanamicina. Los mutantes que se obtengan serán aquellos en los que el *Tn5* se haya transferido al DNA celular (Lewin, 1994).

III.4 Ingeniería genética sobre la estructura genómica del maíz

Uno de los cultivos transgénicos más extendidos alrededor del mundo es el maíz Bt, que es el maíz genéticamente modificado el cual produce en sus tejidos proteínas Cry, La denominación "Bt" deriva de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, anteriormente descrita (Figura 19), su función comienza cuando las larvas de los insectos comúnmente denominados "barrenadores del tallo" intentan alimentarse de su hoja o de su tallo y en consecuencia mueren. Este cultivo ha incrementado exponencialmente su superficie de siembra en los últimos años alcanzando en 1997 cifras de hasta 3 millones de hectáreas sólo en USA.



Figura 19. Maíz Transgénico Bt
Tomado de www.gastronomiaycia.com

Sin embargo, en los últimos dos años, elocuentes artículos de la prensa internacional comenzaron a señalar con alarma los efectos nefastos que la liberación de cultivos transgénicos podría ocasionar en la salud humana, el medio ambiente o la cadena agroalimentaria. En ciertos aspectos la Ingeniería genética no es muy diferente de otros tipos de manipulación génica usados para crear organismos con características útiles. Por ejemplo, el fitomejoramiento tradicional también implica la transferencia de genes entre organismos, la diferencia estriba en que la Ingeniería genética facilita la transferencia de genes a través de las barreras taxonómicas, es decir, no sólo en organismos estrechamente emparentados sino también entre organismos completamente distintos (Álvarez-Buylla, 2004).

Existe evidencia abundante de que los cultivos mejorados por prácticas tradicionales para resistir a plagas y enfermedades pueden hibridarse con sus parientes silvestres y propiciar la evolución de malezas más competitivas. En el caso de las plantas transgénicas con modificaciones que proporcionan resistencia a plagas que no se encuentran en los parientes silvestres, el flujo de transgenes puede tener un valor selectivo distinto, en parte porque en estos casos no existe una historia coevolutiva entre el cultivo y la plaga o patógeno. En el caso de transgenes que proporcionan resistencia a herbicidas, en principio no se esperaría ninguna ventaja adaptativa al portador en un ambiente natural en el que no se utiliza el herbicida. Sin embargo, en muchos casos los cultivos y sus parientes silvestres se distribuyen en el mismo ambiente o en su proximidad. En estos casos, la transferencia de tolerancia a herbicidas puede hacer plantas silvestres difíciles de controlar; como en el caso de los parientes silvestres de las plantas cultivadas (Hails, 2000).

En el afán de buscar plantas resistentes distintas a las silvestres se han generado plantas triple-resistentes, de recombinaciones genéticas de las tres líneas originales. Aunque estas plantas aún pueden manejarse con otros herbicidas, es claro que se pueden enfrentar problemas agrícolas difíciles de solucionar una vez que hay introgresión de genes de variedades transgénicas que confieren resistencia a herbicidas en poblaciones silvestres que crecen cerca del cultivo tratado con herbicidas. Aunque la tendencia actual es producir herbicidas cada vez menos nocivos para el ambiente, si se inicia una carrera de inserción de transgenes para mantener en valor comercial de los productos, se puede llegar a casos de tener la necesidad de utilizar herbicidas cada vez más poderosos y más nocivos para el ambiente. Una medida para evitarlo sería no introducir más de un tipo de resistencia en cultivos que pueden entrecruzarse, como lo es el maíz (Mendoza de Gyves, 1994).

En el maíz, la introducción de resistencia a herbicidas podría ser problemática en sitios en donde el teozintle se considera maleza y se controla con el herbicida en cuestión. En este caso, la inserción del transgén de resistencia en el teozintle llevaría a la evolución de una maleza difícil de manejar.

La utilización de variedades transgénicas que expresan endotoxinas de *Bacillus thuringiensis*, es una de las tecnologías con mayor futuro que se emplea en la actualidad para combatir las plagas de muchos cultivos (Figura 20).



Figura 20. Inserción de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) para combatir plagas en los cultivos de maíz

Tomado de www.curiosidadesdelamicrobiologia.blogspot.com

Con la resistencia a plagas por la expresión de la proteína *Cry*, es previsible que si esta resistencia pasa a un teozintle que naturalmente se controla por lepidópteros susceptibles a la proteína expresada en las plantas transgénicas, también podría darse la evolución de superralezas. Sin embargo, en este caso el teozintle sería resistente a la plaga de lepidóptero pero no a un herbicida adecuado para su control. En cualquier caso, no se espera que algunos de estos dos tipos de resistencia puedan convertir una variedad de maíz criolla en maleza (Sears, 2001).

Se dice que proteína *Cry1Ab* que se expresa del Bt mata a los insectos, pero como es que actúa, esta se solubiliza en el intestino medio de determinados insectos, en este

caso el gusano barrenador europeo, la larva del lepidóptero *Ostrinia nubilalis*. Una vez solubilizadas estas toxinas se activan y se pegan a las membranas de las células columnares del intestino formando canales iónicos que provocan la ruptura de las células epiteliales y consecuentemente la muerte del insecto (Strizhov, 1996). De este modo se aumentarán las probabilidades de que se seleccionen plagas con resistencia a estas proteínas tóxicas (Wheelwright, 2001).

El modo de acción de los insecticidas biológicos Bt que se basan en la facultad que tiene la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Figura 21) para esporular y producir cristales, tienen propiedades tóxicas después de ser ingeridos por los insectos susceptibles. La toxina producida por la bacteria se disuelve en el interior del intestino medio de los insectos, se une a las membranas celulares y altera el balance osmótico. Esto causa la lisis de las células y los insectos mueren.

Bacillus thuringiensis



Figura 21. Bacteria (Bt), bacilo flagelado, esporulado y gram positivo que produce, durante la esporulación, un cristal de proteína tóxica para los insectos.

Tomado de Hu, 2010.

El *B. thuringiensis* se ha usado como insecticida microbiano, incluso en agricultura orgánica, por más de 30 años. Debido a que se degrada relativamente rápido en el ambiente, los insectos se ven expuestos de manera limitada y es quizá por esta razón que no se ha registrado resistencia al Bt usado de esta forma. Esto ha sustentado el desarrollo biotecnológico de resistencia a plagas mediante la expresión de Bt. Sin embargo, para el caso de los transgénicos que expresan esta toxina, la aparición de plagas resistentes al Bt puede ser más factible si no se usan las prácticas adecuadas. Esto se debe a que el uso de los transgénicos que expresan Bt puede llegar a ser indiscriminado y la exposición de la plaga a la toxina puede llegar a ser mucho mayor y más directa que la experimentada en las prácticas orgánicas. La generación de resistencia sería negativa porque se perdería, además de la efectividad de los cultivos Bt, la posibilidad de utilizar este insecticida biológico (Demont, 2004).

Sin embargo, el uso de maíz transgénico Bt también supone muchas ventajas desde el punto de vista medioambiental si se compara con el método de control más extendido en la actualidad, que es el uso de plaguicidas de origen sintético. El maíz Bt basado en la expresión *Cry1Ab* tiene propiedades insecticidas también para el insecto diana, ya que éste no requiere procesar proteolíticamente la protoxina. Esto implica que aunque la eficacia del maíz Bt es muy elevada dada la alta concentración de la toxina en la planta, su espectro de acción también podría ser más alto y su selectividad ecológica menor que la de los insecticidas Bt. Esta hipótesis ha sido recientemente confirmada al demostrarse que la toxina *Cry1Ab* de plantas transgénicas puede afectar negativamente a insectos beneficiosos, como por ejemplo a depredadores generalistas (Benbrook, 2002).

Por esa razón se han desarrollado varias prácticas para disminuir la velocidad con la que se seleccionan insectos resistentes a las toxinas producto de la modificación transgénica (Fernández-Anero, 1999). Estas prácticas incluyen la utilización de zonas de refugio en las que se cultivan plantas sin transgenes; la generación de nuevas variedades de la toxina evitan que se fije la resistencia en los insectos a una variedad particular; y permiten la precaución de no introducir de manera simultánea diferentes genes de resistencia a plagas en la misma variedad agrícola para que la presión de selección sobre las plagas no las lleve a fijar resistencia a varias toxinas diferentes. También se han practicado rotaciones de cultivos resistentes y no resistentes para evitar una presión de selección constante sobre los insectos e impedir así que desarrollen resistencias (Estruch, 1997).

Por lo tanto, es claro que si ocurre el flujo no intencional y controlado de estos transgenes de resistencia a poblaciones no sujetas a regulación en la aplicación de este tipo de prácticas, se pueden originar plagas de insectos nuevas y difíciles de controlar, en ese caso sería necesario usar otros insecticidas. Es importante hacer énfasis en que el éxito en el uso de las plantas Bt depende del uso de un plan general de manejo de plagas que es muy poco factible que se implemente en países como México.

Los descendientes de plantas transgénicas que de manera no intencional han polinizado plantas para las cuales no fueron diseñados los genes introducidos por la técnica de DNA recombinante, pueden tener consecuencias no esperadas. Por ejemplo, la expresión de toxinas puede dañar insectos que no son plagas y sí son beneficio. En el caso de la toxina Bt esta corresponde a un posible efecto nocivo. Losey (1999) presentó evidencia de que el polen de maíz transgénico depositado

sobre las hojas de las asclepias de las que se alimentan las larvas de la mariposa monarca, afectaba significativamente la sobrevivencia y crecimiento de las larvas de esta mariposa en condiciones de laboratorio, y ellos mismos reconocieron la necesidad de hacer estudios de campo. Como respuesta a este trabajo, muchos otros investigadores exploraron los efectos del polen de maíz Bt en las larvas de la mariposa monarca y en otras, tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones naturales, los investigadores fueron, Hellmich, Oberhauser, Sears, Stanley-Horn y Zangerl en 2001.

No faltaron las controversias, en algunos casos se descubrieron efectos sobre el crecimiento y la sobrevivencia de algunos estadios larvarios, aunque en otros estudios no se observaron diferencias significativas con estos parámetros entre las larvas expuestas a polen de maíz Bt y los controles. El resultado general más importante es que los efectos dependen de los niveles de exposición y del suceso del que se trate (de la variedad específica de Bt), no obstante los niveles de exposición que se esperan en el campo son muy bajos. Sin embargo, de esta serie de estudios surgen recomendaciones de manejo de riesgos, como seleccionar transgénicos que no expresen las endotoxinas del Bt en el polen sino únicamente en las partes de la planta de las que se alimenta la plaga (Losey, 1999).

Aun cuando los efectos documentados en el caso del maíz Bt en campo parecen prácticamente inexistentes, es claro que los efectos ecosistémicos de los transgenes son posibles y por tanto resulta importante extender este tipo de investigación a todos los eventos liberados al ambiente. Por ejemplo, aunque la proteína Cry se produce naturalmente por bacterias del suelo, las proteínas de plantas transgénicas pueden ser cualitativa y cuantitativamente distintas a las producidas naturalmente por las bacterias, y ya que ahora se sabe que las proteínas Cry persisten en el suelo durante periodos mucho más largos que los previstos, se especula sobre sus posibles efectos ecológicos (Stotzky, 2002) y se refrenda la necesidad de hacer estudios a más largo plazo.

Además de los efectos sobre organismos, la introducción de un gen también muestra efectos múltiples, algunos no esperados y dependientes del ambiente en donde crece una planta. A los efectos colaterales de los genes se les conoce como pleiotrópicos y ocurren por lo general en los genomas de todos los organismos. Durante la etapa de desarrollo de los organismos modificados genéticamente, las industrias y los laboratorios de investigación llevan a cabo programas extensivos de selección en los que se evalúan efectos no esperados en las líneas transgénicas generadas. Estos

programas han revelado que sólo una pequeña fracción de las líneas transgénicas obtenidas cumplen todos los requerimientos esperados por los biotecnólogos. La dificultad para encontrar líneas adecuadas tiene relación, además, con el hecho de que la expresión de los transgenes depende de dónde se inserten dentro del genoma de la planta receptora. El sitio de inserción no se puede predecir, ni determinar *a priori*, con base en las técnicas actuales de DNA recombinante disponibles para plantas y animales. Además, los estudios incluyen ambientes relativamente limitados y exploran efectos en los fenotipos a corto o, rara vez, a mediano plazo. Es necesario, por lo anterior, mantener monitoreos sistemáticos en todos los ambientes donde se liberen los OMG, ya que la expresión de éstos puede resultar influido por el medio y la recombinación (Gutiérrez, 1997).

La literatura sobre efectos no esperados de la modificación genética tiene un interesante ejemplo en base a diferentes sucesos relacionados con el maíz Bt. Saxena y Stotzky (2001) compararon diferentes híbridos de maíz Bt, correspondientes a tres hechos transgénicos distintos, con sus respectivas líneas isogénicas relacionadas con el contenido de lignina. Encontraron en el tallo de las plantas de maíz transgénico un contenido de lignina significativamente mayor (33 % a 97 %) que sus respectivas líneas isogénicas. Esta tendencia se mantuvo tanto en plantas crecidas en cámaras de crecimiento como en plantas en el campo. Más aún, el contenido de lignina fue consistentemente mayor en plantas genéticamente modificadas crecidas en el campo que en las que se desarrollaron en los ambientes controlados dentro de cámaras de crecimiento. Los autores analizan una serie de implicaciones ecológicas que podrían, producto de interacciones genéticas, acarrear al ambiente. Algunas son potencialmente benéficas, como la mayor resistencia mecánica de los tallos o el efecto positivo de la lignina sobre la materia orgánica del suelo y la baja digestibilidad del maíz transgénico usado como forraje. El punto central, sin embargo, es el efecto inesperado del mecanismo genérico y metabólico que vincula la producción de la proteína *Cry1Ab* con la producción de lignina y probablemente con otros procesos hasta ahora inexplorados (Álvarez-Buylla, 2004).

El estudio de Quist y Chapela (2001) constituye la primera evidencia empírica publicada de la presencia de transgenes en cultivos criollos de maíz en México. Estos autores encontraron bandas de PCR positivas que indican la presencia del promotor del 35s del virus del mosaico de la coliflor en el genoma de maíces criollos. Este promotor se ha utilizado en prácticamente todos los desarrollos biotecnológicos de plantas transgénicas hechos hasta ahora. También se encontró la presencia del Terminator NOS de *Agrobacterium tumefaciens* (Dalton, 2001).

Los gigantes genéticos han desarrollado también esta patente biológica, la tecnología Terminator, que produce semillas estériles en la segunda generación. Con Terminator existe un monopolio que no tiene fecha de expiración.

En 1999, debido a la enorme oposición pública a las semillas suicidas, Monsanto y AstraZeneca hicieron un compromiso público de comercializar semillas Terminator. Esto llevó a mucha gente a creer que la crisis había pasado. Tanto Monsanto como AstraZeneca se fusionaron con otras empresas después de este anuncio. En agosto del 2001, el Departamento de Agricultura de USA (USDA) anunció que había licenciado sus patentes Terminator a Delta & Pine Land Seed Co., compañía de semillas de algodón más grande del mundo, Delta & Pine Land anunció públicamente su intención de comercializar las semillas Terminator. Otras compañías continúan desarrollando y refinando la esterilización genética de semillas. Los propietarios de patentes Terminator incluyen a las más grandes corporaciones de semillas y agroquímicos e instituciones de investigación tales como Syngenta, Monsanto, DuPont, BASF, Delta & Pine Land, así como el Departamento de Agricultura y las Universidades de Cornell, Purdue y Iowa, en USA (Ribeiro, 2004).

Recientemente, exacerbados por el trágico caso de la contaminación con transgénicos del maíz nativo de México, la industria y científicos allegados a ella están argumentando que Terminator es una tecnología para la bioseguridad, como método para prevenir el escape genético y la contaminación. Terminator no fue concebido con este uso, su nombre original fue sistema de protección de la tecnología y se proponía evitar que nadie pudiera robarles el uso de sus semillas (Ribeiro, 2004).

Otras tecnologías estrechamente ligadas a Terminator son potencialmente aún más insidiosas. Tal es el caso de las llamadas tecnologías de restricción del uso génico o tecnologías traidoras. Con el control de la expresión genética la meta es lograr que las características de un cultivo se puedan prender o apagar al aplicarles un químico determinado. Así, si las compañías pueden modificar genéticamente las semillas para que reaccionen solamente ante la aplicación de su propio plaguicida o fertilizante patentado, van a reforzar enormemente la dependencia en la agricultura (Ribeiro, 2004).

Sin embargo, una nota publicada poco después del estudio de Quist y Chapela (Ford, 2002) refuta los hallazgos de Chapela. Su principal argumento se basa en un estudio, publicado en la página electrónica del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, (Castillo González, 1997 y Goodman, 2004; Christou, 2002), donde se

muestra que el análisis de investigadores de este centro no encontraron, siguiendo la técnica de PCR, la construcción transgénica que contiene el gen promotor 35s del virus del mosaico de la coliflor en muestras de maíz de Oaxaca colectado entre 1999 y 2001. Meses después de la publicación de Quist y Chapela (2001), apareció en Nature una carta de su editor, en la que señala que la revista no se hace responsable de lo publicado por Quist y Chapela. El deslinde se basa en las conclusiones de un grupo de científicos que cuestionan tanto las técnicas utilizadas como el reporte original, los resultados y las conclusiones de Quist y Chapela. Los científicos argumentan que la técnica de PCR puede estar sujeta a artefactos especialmente cuando se usan dos rondas de la reacción para obtener bandas positivas. También argumentan que para poder asegurar la presencia de transgenes en el genoma de los maíces criollos es necesario contar con experimentos de hibridación tipo Southern (Metz y Fütterer, 2002; Kaplinsky, 2002).

Finalmente cuestionan las conclusiones del artículo, según las cuales los transgenes se encuentran en múltiples contextos genómicos en los maíces criollos. En este caso demuestran que varias de las secuencias clonadas por Quist y Chapela a partir de la técnica inverse-PCR son artefactuales y se deben a que el genoma del maíz reviste secuencias muy similares a ciertas regiones de las secuencias del promotor del 35s utilizado en las variedades transgénicas objeto de las búsquedas de Quist y Chapela. Sin embargo, los dos grupos concluyen que es probable encontrar los transgenes en las variedades criollas, a pesar de que, por falta de resultados contundentes, es prematuro derivar conclusiones sobre su efecto en la diversidad de maíces locales. En el mismo número se publicó una carta con datos nuevos de hibridación de muestras no digeridas (dot-blot) que corroboran sus hallazgos y reconocen que algunos (no todos) de sus resultados de i-PCR pueden ser artefactuales. Sin embargo, reafirman su conclusión de que los transgenes están presentes en las variedades criollas de México (Quist y Chapela, 2001).

Motivados por los estudios de Quist y Chapela, el INE (Instituto Nacional de Ecología) y la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) encargaron a dos laboratorios, el de Rafael Rivera en el CINVESTAV de Irapuato, y el de Elena Álvarez-Buylla en la UNAM, la elaboración de estudios más exhaustivos para documentar la posible introgresión de transgenes a variedades criollas en México. Los primeros estudios derivados de este esfuerzo se enviaron a Nature, pero no fueron publicados con base en una serie de críticas técnicas, en evaluación en este momento para revisar y en su caso repetir algunos experimentos antes de someter nuevamente el estudio para su publicación. Los resultados recabados hasta ahora apuntan a

corroborar la presencia de los transgenes en razas criollas de maíz de Oaxaca y Puebla (Álvarez-Buylla, 2004).

III.5 Genes modificados

La primera descripción de elementos genéticos transponibles fue realizada estudiando la genética del maíz. En este sistema recibieron la denominación de elementos controladores (controlling elements). Se han identificado por lo menos tres familias de elementos controladores; actualmente se poseen indicios de la existencia de un mínimo de una docena. Elementos similares han sido detectados en otras especies vegetales.

En el maíz, cada familia posee dos categorías de miembros, definidas genéticamente: los miembros autónomos, que son intrínsecamente inestables y capaces de transponerse y escindir-se por sí mismos; y los elementos no autónomos, que son estables y que sólo se transponen cuando coexisten, en el mismo genoma, con un miembro autónomo de la misma familia. Esta última característica permitió definir las familias de los diferentes elementos (Singer, 1993).

Debido a que los elementos autónomos codifican funciones necesarias para su propia transposición, y debido también a sus características estructurales, los elementos controladores del maíz se agrupan en la misma categoría de elementos que los elementos transponibles de procariontas y que los elementos P de *Drosophila*. La distinción funcional entre elementos autónomos y no autónomos es análoga a la que existe entre los elementos P completos y los más cortos. A pesar de ello, existen importantes diferencias entre los dos sistemas. Por ejemplo, los elementos P son activos únicamente en las células de la línea germinal, mientras que los elementos controladores del maíz provocan mutaciones en la línea germinal y también en células somáticas.

En el maíz, la transposición tiene lugar con frecuencias reproducibles en momentos concretos durante el desarrollo; en consecuencia, sus efectos fenotípicos presentan un patrón regular, espacial y temporal. A pesar de que estos efectos se solapan con los patrones de desarrollo especificados en el genoma fijo del maíz, no es difícil imaginar cómo habrían evolucionado para acabar jugando un papel importante en el propio desarrollo de la planta (Singer, 1993). En el desarrollo del maíz, cada grano está formado por un embrión y un endospermo multicelular, que alimenta a la planta en crecimiento durante la germinación (Figura 22). El embrión y el endospermo se

originan por fusiones independientes de núcleos haploides, aunque normalmente contienen la misma información genética. Los pares de núcleos haploides macho o hembra que originan una u otra estructura son hermanos, ya que provienen de las divisiones mitóticas de precursores haploides.

En consecuencia, las mutaciones de la línea germinal que ocasionan efectos sobre el endospermo tienen su réplica en el embrión, que facilita el estudio posterior de la mutación en concreto. Cada uno de los cientos de granos de una mazorca de maíz proviene de un apareamiento independiente, por lo que es posible observar mutaciones infrecuentes de la línea germinal.

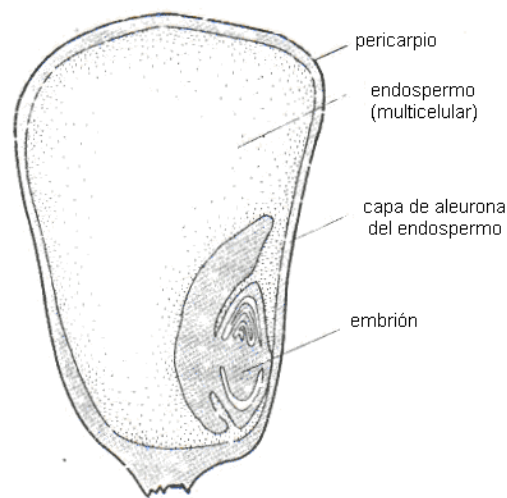


Figura 22. Grano de Maíz

Tomado de Singer, 1993.

También es posible detectar con facilidad mutaciones somáticas. Durante la diferenciación del endospermo, existen células precursoras individualizadas, que dan lugar a la aparición de clones localizados. Una mutación que afecte a una única célula en un momento determinado del desarrollo, puede ser observada más tarde como una mancha con el fenotipo mutante dentro del conjunto de células normales del endospermo.

Existen muchos fenotipos del endospermo, sin efectos importantes sobre viabilidad, que son fácilmente detectables y proporcionan buenas herramientas de experimentación (TABLA 4). Uno de los ejemplos es el locus C, las plantas que son homocigóticas para una mutación recesiva en el locus C poseen defectos en la vía de síntesis de unos pigmentos, las antocianinas. En consecuencia los granos son prácticamente incoloros (Figura 23a).

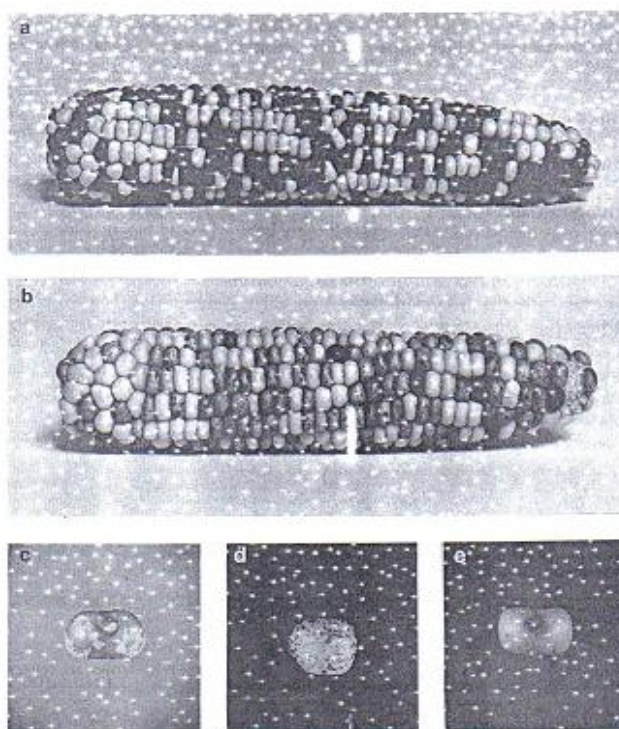


Figura 23. Características fenotípicas asociadas con el locus C. (a) mazorca de maíz con algunos granos de tipo silvestre (púrpura) y algunos mutantes (incolores). Granos incolores contienen una mutación estable en un gen (C) necesario para la síntesis de antocianinas. (b) Algunos granos de la mazorca son incolores, como en (a); otros son variegados, ya que la mutación, provocada por la inserción de un elemento transponible, es inestable. Los clones de células en las que el elemento ha saltado fuera del locus C contienen siempre un gen funcional, y sintetizan antocianina. También se muestran detalles de los granos en los que la escisión del elemento transponible del locus C tuvo lugar en una fase inicial (c), media (d) y tardía e infrecuente (e), del desarrollo del grano

Tomado de Robbins, 2008.

TABLA 4. ALGUNAS MUTACIONES DEL MAÍZ DE UTILIDAD EXPERIMENTAL

Locus Genético	Fenotipo mutante	Fenotipo Silvestre	Cromosoma	Función codificada
C	Aleurona incolora	Aleurona pigmentada	9	Regulación de la producción de antocianina
Bz (bronce)	Aleurona pálida	Aleurona	9	Glucosilación de antocianina por la

		pigmentada		UDP-glucosa: flavonol 3-O-glucosil transferasa
<i>Wx</i> (<i>waxy</i>)	Carencia de amilasa en el endospermo; se tiñe de color marrón pálido con solución de I ₂ KI	Contiene amilasa; se tiñe de azul- negro con I ₂ KI	9	Glucosiltransferasa para la síntesis de amilasa
<i>Sh</i> (<i>shrunken</i>)	Almidón insuficiente, que provoca la aparición de un grano contraído ("shrunken")	Grano hinchado	9	Sacarosa sintetasa para la biosíntesis de almidón
<i>Adh1</i>	Carece de alcohol deshidrogenasa	-	1	1 subunidad de la alcohol deshidrogenasa

Tomado de SINGER, 1993.

Las plantas homocigóticas que poseen un alelo recesivo inestable para el locus C dan mazorcas de grano pálido, con algunas manchas ocasionales de pigmentación oscura (Figura 23b-e). Cada una de estas manchas pigmentadas es un clon de células derivadas de una que había revertido a la forma silvestre dominante, capaz de sintetizar antocianina. Las mutaciones recesivas inestables son provocadas por la inserción de un elemento controlador. La reversión está asociada con reorganizaciones secundarias, como la escisión del elemento y el regreso al fenotipo dominante. Además de estas propiedades, la presencia de elementos controladores favorece la aparición de deleciones, duplicaciones, inversiones, translocaciones, roturas cromosómicas, fusiones y reordenaciones en locus cromosómicos vecinos. Todas estas reorganizaciones recuerdan a las que afectan a secuencias vecinas en los sistemas procariotas, en los casos en que tenía lugar la formación de cointegrados intramoleculares debido a la presencia de transposones. Sin embargo, no se sabe si el mecanismo que opera en las plantas es del mismo tipo que el de las bacterias (Lippman, 2004).

Los elementos controladores autónomos provocan por sí mismos mutaciones por inserción (Figura 24). Vale la pena recordar las propiedades de los elementos P de *D. melanogaster*; utilizando el lenguaje propio de la genética del maíz, un elemento P es un elemento autónomo, y favorece su propia transposición y escisión. Un elemento P

defectuoso, siguiendo con la analogía, es un elemento no autónomo, y depende de la presencia de un elemento P completo que proporcione las funciones necesarias para ser movilizado (Singer, 1993).

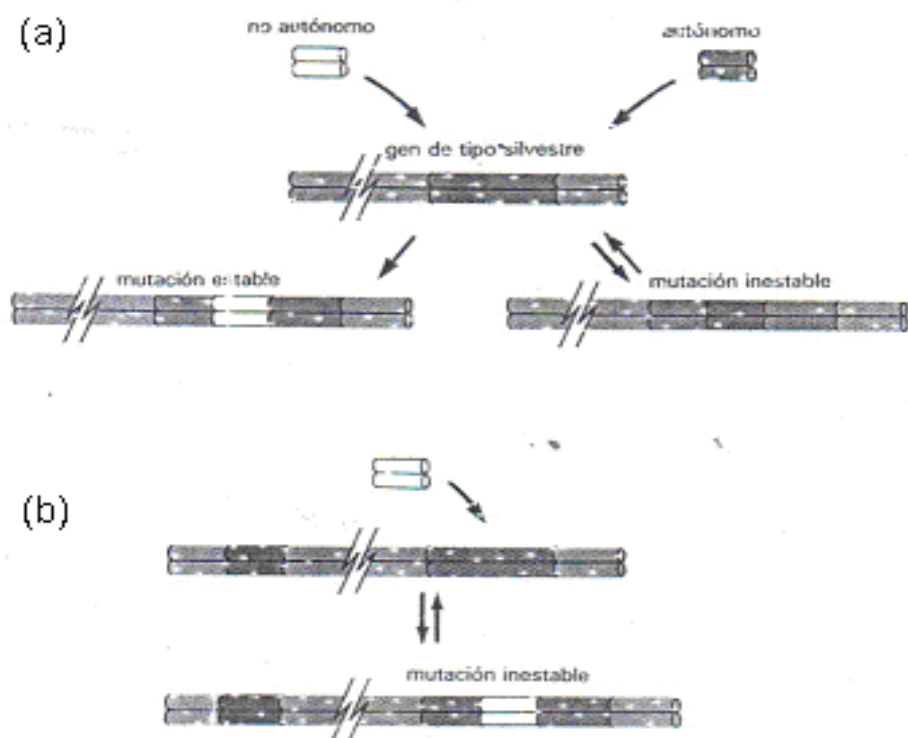


Figura 24. Familias de elementos controladores del maíz, que contienen elementos autónomos y no autónomos.

(a) La inserción de elementos no autónomos en genomas que no contienen elementos autónomos provoca mutaciones estables. Las mutaciones inestables están provocadas por la inserción de elementos autónomos.

(b) Las mutaciones provocadas por la inserción de elementos no autónomos pueden ser inestables si el genoma contiene un elemento autónomo miembro de la misma familia

Tomado de Singer, 1993.

En una familia de elementos controladores del maíz, denominada *Ac-Ds*, el elemento *Ac* (de activador) es el elemento autónomo que proporciona las funciones de transposición y de escisión de sí mismo y de los elementos emparentados no autónomos denominados *Ds* (de disociación). Los elementos *Ds* son inestables únicamente cuando el genoma contiene uno o más elementos *Ac*. Además, los elementos *Ds* son el resultado de la modificación de un elemento *Ac*, lo que valida aún más la analogía con los elementos P. Por ejemplo, existen cepas mutantes independientes, afectadas por la inserción de un elemento *Ds* en el locus *Bz*, que derivan de cepas con elementos *Ac* en la misma posición (Figura 25). Retienen el fenotipo mutante *Bz*, pero son estables, a menos que se introduzca en el genoma un elemento *Ac* adicional utilizando un cruzamiento adecuado, de la misma forma que la

mutación sn^w , de *D. melanogaster*, es estable hasta que se introduce un elemento P completo en cualquier posición del genoma (Spofford, 1961).

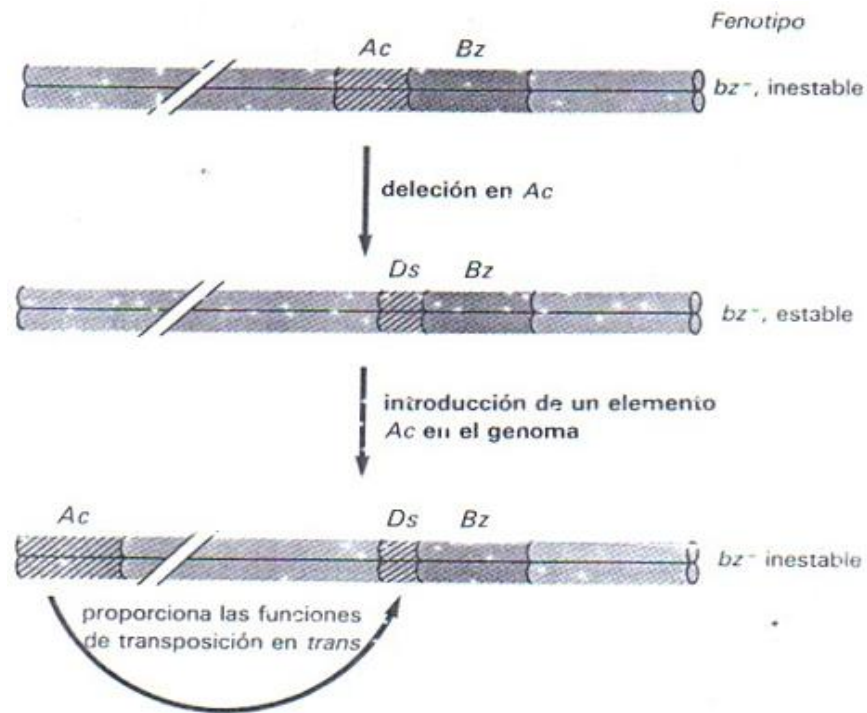


Figura 25. Los elementos *Ds* derivan de elementos *Ac* modificados. *Ds* puede ser activado si el genoma adquiere un elemento *Ac* autónomo.

Tomado de Robbins, 2008.

La inserción de un elemento *Ac* o de un *Ds* en las proximidades de un gen particular produce una gran variedad de efectos fenotípicos. Puede modificar el nivel de transcripción, variar el control normal de la expresión génica durante el desarrollo o en diferentes tejidos, o bien puede provocar la producción de una proteína mutante. Existen otros efectos fenotípicos que están relacionados con la inestabilidad de las regiones que rodean a los sitios de inserción de un elemento *Ac* o de un *Ds* en presencia de un *Ac*. Entre estos efectos cabe mencionar (1) las roturas cromosómicas, que pueden acabar ocasionando la separación y pérdida de fragmentos cromosómicos acéntricos, y la desaparición de todas las funciones codificadas en esos fragmentos cromosómicos (Figura 26); y (2) la aparición de mutaciones adicionales en las proximidades de los sitios de inserción de los elementos *Ds*, y no de los *Ac*. Por otra parte, no todos los elementos *Ds* provocan toda la gama de efectos descritos, aún en presencia de un *Ac*. Algunos producen frecuentes roturas cromosómicas; otros exhiben este efecto en muy pocas ocasiones. Algunos elementos *Ds* han perdido la capacidad de transponerse, pero aún revierten y estimulan la aparición de mutaciones vecinas. Las variadas propiedades de los elementos *Ds* están asociadas con diferentes alteraciones en los elementos *Ac*.

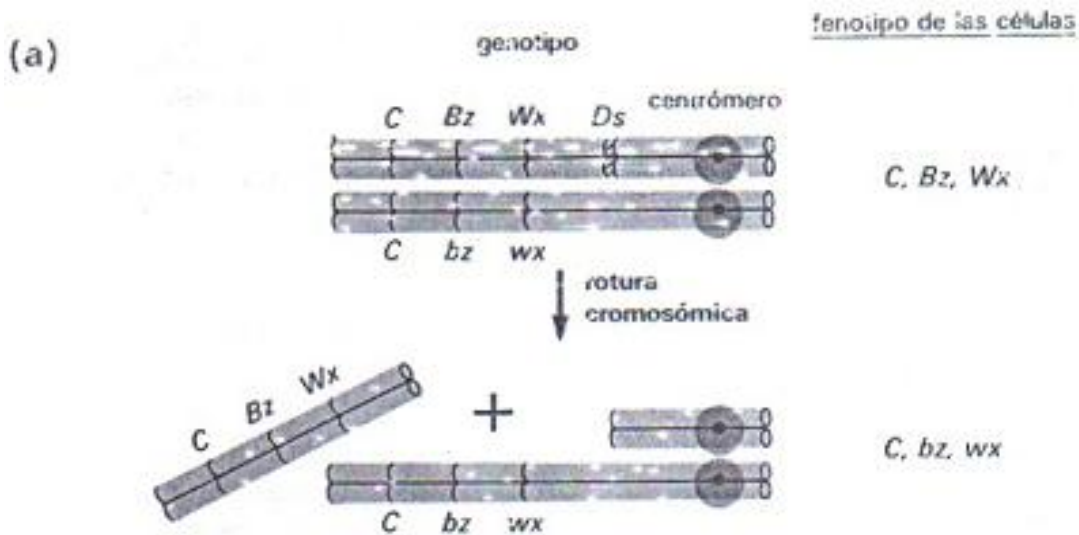
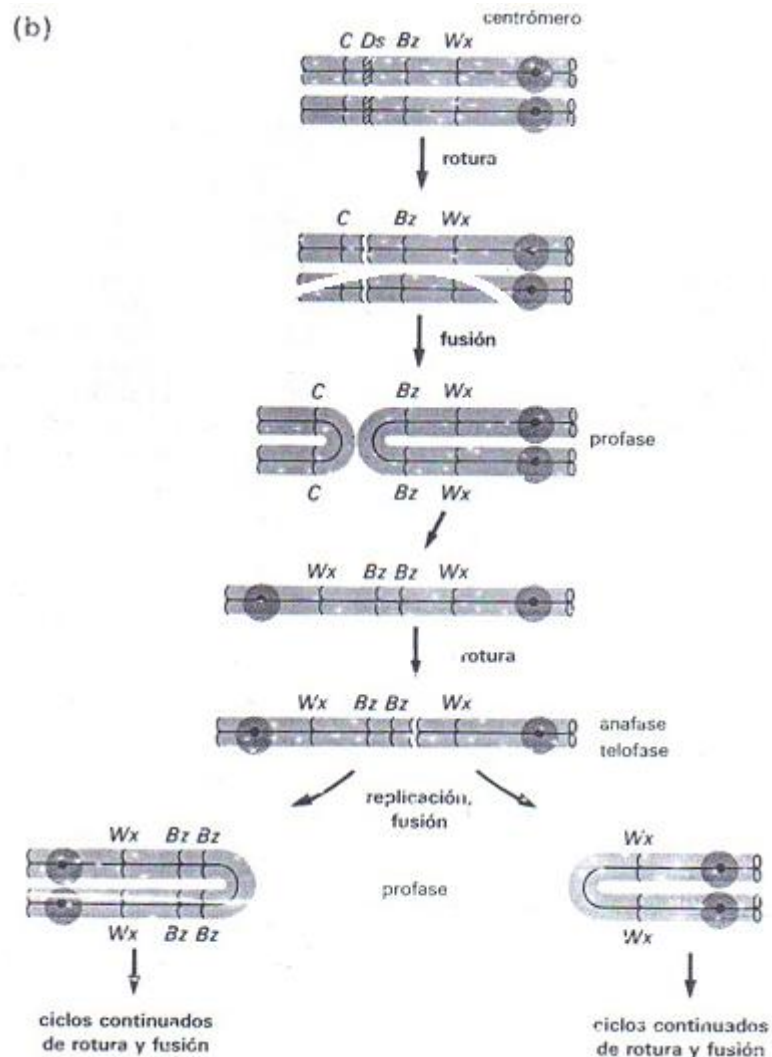


Figura 26. Roturas y reordenaciones cromosómicas en las inmediaciones de los sitios de inserción de los miembros de la familia *Ac-Ds*.

(a) Un cromosoma 9 contiene una inserción *Ds* entre el locus *waxy* y el centrómero. La rotura del cromosoma por *Ds* provoca la pérdida del fragmento acéntrico en las células hijas. Este fragmento contenía los locus dominantes del tipo silvestre *C*, *Bz* y *Wx*.

(b) Tras la rotura, las cromátidas hermanas se fusionan dando lugar a un fragmento acéntrico en forma de U, y a un fragmento dicéntrico también en forma de U. En las mitosis posteriores estos fragmentos serán separados y rotos. En cada una de estas roturas, los nuevos extremos pueden volver a fusionarse generando un ciclo continuo de inestabilidad cromosómica. Al contrario de lo que ocurre con los extremos rotos, los cromosomas nunca se fusionan por sus telómeros.

Tomado de Singer, 1993.



Se han clonado segmentos de DNA que contienen elementos *Ac*, y también clones con elementos *Ds*. Un conjunto de estos clones, derivados del locus *waxy* (TABLA 4), sirve para ilustrar la aproximación general. La variante silvestre de *waxy* codifica para una proteína de 65 kDa. De esta proteína deriva una de 58 kDa, que se une estrechamente con los gránulos de almidón. Se purificó mRNA poli(A)⁺ del endospermo, y se preparó una biblioteca plasmídica que contenía el conjunto de cDNA correspondientes. Se tamizó la biblioteca utilizando el método de selección de híbridos, para detectar aquellos clones capaces de sintetizar el mRNA correspondiente a la proteína de 65 kDa. Los clones de cDNA positivos fueron utilizados, a su vez, para seleccionar clones genómicos homólogos de varias bibliotecas genómicas de DNA de maíz.

(Figura 27) Se representan 5 de estos elementos genómicos clonados. Uno de ellos deriva de un locus *waxy* silvestre, otro de un locus mutante por inserción de un elemento *Ac*, otro (*Ds-1*) de un mutante *Ds* originado por mutación del propio mutante *Ac*, y otro de un revertiente fenotípico de tipo silvestre, derivado de un mutante *Ds-1*.

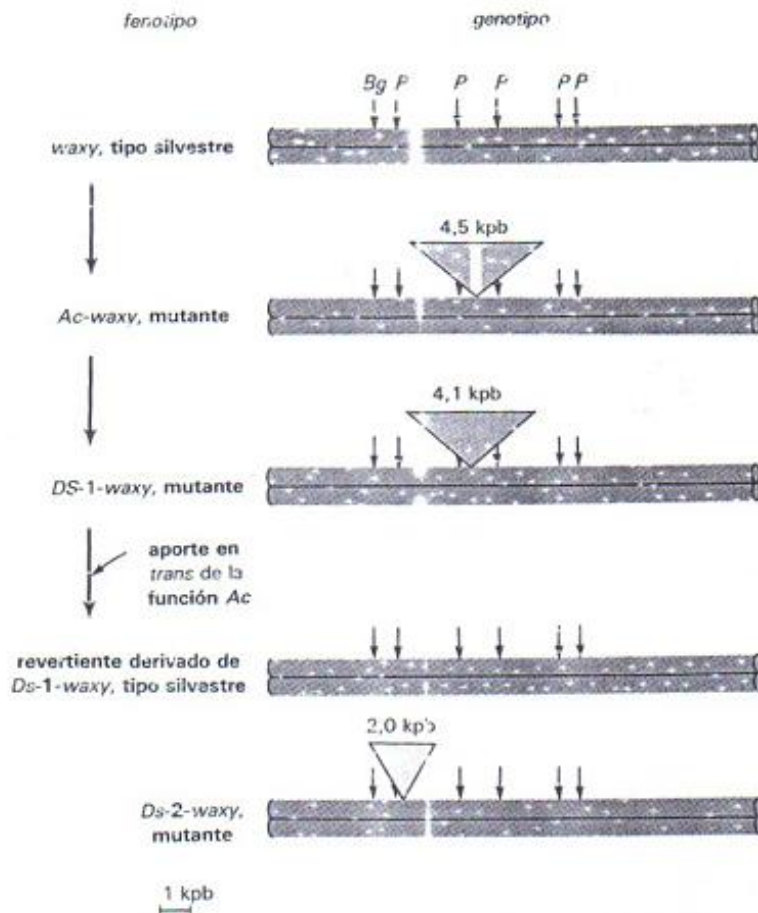


Figura 27. Clones genómicos que contienen mutaciones *Ac* y *Ds* en el locus *waxy* del maíz. Tomado de Singer, 1993.

El quinto elemento se obtuvo de un mutante *Ds* independiente (*Ds*-2). La mutación inducida por *Ac* está asociada con una inserción de 4.5 kpb en el DNA próximo al extremo 3' de la unidad de transcripción *waxy*; este segmento de 4.5 kpb corresponde al propio elemento *Ac*. El mutante *Ds*-1 derivado del mutante *Ac* contiene una inserción en la misma posición, pero su tamaño es menor, perdiendo unos cuantos centenares de pares de bases del interior del elemento. El revertiente de tipo silvestre no posee la inserción, y su DNA es como el DNA del tipo silvestre original (Graham, 1997).

Experimentos en el locus *Adh* han demostrado la existencia de una mutación ocasionada por la inserción de un elemento *Ds* de 405 pb en la región 5' no traducida de la unidad de transcripción (Figura 28). En este caso, exceptuando los extremos, las secuencias del interior del elemento *Ds* no son las que se encuentran en los elementos *Ac*, lo que demuestra que los elementos *Ds* son, probablemente, muy heterogéneos en sus secuencias internas.

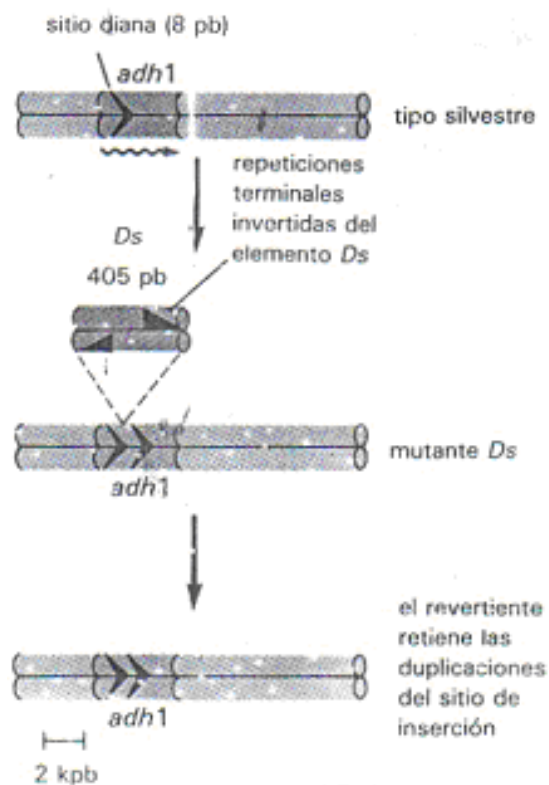


Figura 28. Clones genómicos que contienen el gen *Adh1* del maíz. La flecha ondulada indica la dirección de la transcripción

Tomado de Robbins, 2008.

Se conoce la secuencia de nucleótidos del elemento *Ac* (Figura 29). Es un segmento de DNA de 4.6 kpb, con una secuencia repetida invertida terminal de 11 pb que define sus extremos. También contiene varios conjuntos de repeticiones invertidas independientes en regiones próximas a ambos extremos. Los segmentos repetidos terminales se conservan en los elementos *Ds*. Existen cinco pautas de lectura abiertas que pueden codificar para polipéptidos. Si se producen deleciones en algunos de los diferentes exones puede bloquearse la capacidad de transposición del elemento. En los tejidos vegetales que contienen elementos *Ac* activos es posible encontrar un transcrito de 3.5 kb, derivado del elemento, que carece de los cuatro intrones presentes en la secuencia del DNA. Es probable que éste sea el mRNA correspondiente a una transposasa de *Ac*, y que codifique también para otras funciones especificadas por elemento.



Figura 29. Estructura del elemento transponible *Ac*, del maíz, de 4.6 kpb. Se muestran las repeticiones imperfectas terminales de 11pb, así como la longitud y la dirección de la transcripción identificada. Cinco exones unidos codifican para una larga pauta abierta de lectura en el mRNA de 3,5 kpb que se representa en la parte inferior de la figura.

Tomada de Robbins, 2008.

La inserción de un elemento *Ds* o *Ac* está asociada con una duplicación en el sitio de inserción. El segmento duplicado es siempre de 8 pb. No siempre se pierde la duplicación cuando el elemento se escinde y se produce la reversión. Por ejemplo, en un revertiente del mutante *Adh1* descrito previamente, la copia adicional del segmento de 8 pb permanece como huella de la inserción (Figura 28). Con frecuencia, una de las dos copias, o bien las dos copias del segmento de 8 pb del sitio de inserción, sufren una pequeña modificación. Esta modificación puede ser una mutación puntual, o bien una deleción de un par de bases. Por tanto, la escisión es imprecisa, y puede o no dar lugar a la reversión del fenotipo. En otros elementos transponibles vegetales se produce el mismo fenómeno (Haberer, 2005).

Se desconocen los mecanismos de inserción y de escisión de los elementos *Ac* y *Ds*. Las evidencias genéticas y moleculares sugieren la existencia de un mecanismo no replicativo de inserción, que implicaría la escisión de uno de los elementos de su posición en el genoma y su integración en una nueva. Las huellas que dejan estos elementos tras su escisión, en forma de restos de las duplicaciones en el sitio de inserción, sugiere que el mecanismo de escisión de los elementos *Ac* o *Ds* podría ser similar al descrito para los elementos P.

Fragmentos subclonados que representan regiones internas de los elementos *Ac* y *Ds* hibridan con múltiples bandas de digestiones con endonucleasas de restricción del DNA genómico del maíz. En conjunto, se estima que los genomas de diferentes variedades contienen unas 35 copias de estos elementos. Sin embargo, los patrones de hibridación son complejos, lo que indica la existencia de varias clases diferentes de elementos *Ds*, así que quizá también de elementos *Ac*. La variabilidad resulta aparente en los elementos *Ds* ya descritos; su longitud es de 4.1, 2.0, y 0.405 kpb respectivamente. Además, un mutante por inserción de un elemento *Ds* en un intrón del gen de la sacarosa sintasa, el locus *shrunken*, *Sh* (TABLA 4) está asociado con un elemento complejo, de unos 30 kpb de longitud, que contiene varias repeticiones de secuencias de *Ds*, así como secuencias no relacionadas (Figura 30). Los extremos de este elemento de 30 kpb son repeticiones repetidas invertidas imperfectas de los propios elementos *Ds*, que en este caso poseen más de 3 kpb de longitud (Altschul, 1990).

Esta no es la única particularidad del DNA próximo de la región que ocupa el locus *shrunken* mutante, sobre el cromosoma 9; en la región 5' del gen existe una duplicación de parte del DNA de locus mutante. La duplicación incluye parte del gen y algunas secuencias derivadas de *Ds*. Esta observación apoya algunas de las observaciones realizadas por análisis genético, en el sentido de que la presencia de elementos *Ac-Ds* estimula la formación de reordenaciones secundarias en secuencias vecinas a los sitios de inserción. De igual modo, el análisis molecular de un revertiente del mismo mutante confirma las observaciones realizadas genéticamente hace ya 30 años: los revertientes a *Sh*⁺ retienen un elemento *Ds*, ya que el locus continúa exhibiendo una elevada frecuencia de rotura cromosómica. De esta forma, a pesar de que el gen revertiente clonado de *Sh*⁺ carece de la inserción de 30 kpb, y es muy similar al gen silvestre en cuanto a su estructura, retiene la duplicación parcial del gen y de secuencias *Ds* en su región 5'. El análisis genético realizado en el maíz hace 30 años ha demostrado aportar predicciones extraordinariamente precisas acerca de la

presencia de elementos móviles, así como de las estructuras moleculares complejas asociadas con los elementos controladores *Ac-Ds*.

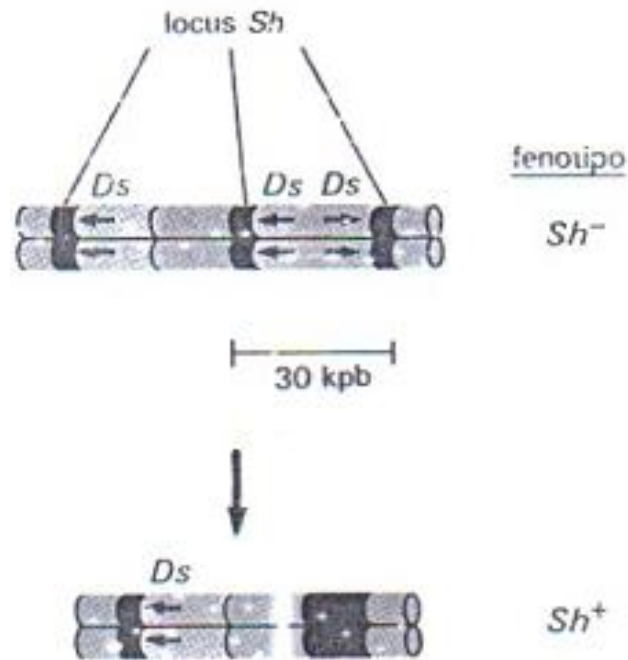


Figura 30. Inserciones complejas de elementos *Ds* en el gen de la sacarosa sintetasa (*Sh*) del maíz. A partir de segmentos de DNA genómico que habían sido clonados, pudieron determinarse las estructuras de locus mutantes (*Sh*⁻) y revertientes (*Sh*⁺). En los clones *Sh*⁻ el gen está interrumpido por duplicaciones invertidas de la secuencia de *Ds*, que flaquean un segmento de DNA no relacionado con *Ds* y no caracterizado. En el lado 5' del gen (a la izquierda), se observa una duplicación de más de 20 kpb de la secuencia, que incluye parte del gen y parte de la inserción compleja. En los revertientes *Sh*⁺, se pierde la inserción, pero se mantiene la duplicación del lado 5'.

Tomado de Robbins, 2008.

MAÍZ TRANSGÉNICO

IV.1 Variedades

Las nuevas variedades de maíz (TABLA 5) se diseñaron para resistir el consumo indiscriminado de herbicidas que las mismas empresas transnacionales producen, como son Monsanto, Novartis, DuPont, etc. (Figura 30). La resistencia a los herbicidas hace posible que la planta sea roseada con grandes cantidades sin que muera, o bien le brinda a la planta la capacidad de resistir insecticidas más tóxicos que los usuales (Wheelwright, 2001).



Figura 31. El maíz transgénico fue desarrollado para ser resistente a herbicidas
Tomado de www.organicamente.com.

TABLA 5. ALGUNAS DE LAS NUEVAS VARIEDADES DE MAÍZ TRANSGÉNICO
APROBADAS ENTRE 1996 Y 1997

Maíz transgénico	Características nuevas	Empresa que lo produce	Países donde se ha cultivado	Países donde se usa para la alimentación humana	Países donde se le utiliza como pienso
Maíz Bt 11	Tolerante al herbicida glufosinato de amonio y tóxico para el gusano barrenador europeo	Syngenta (Novartis)	USA, Canadá y Japón	Japón, Canadá y Suiza	Japón, Canadá, Reino Unido y Suiza
Mon 810	Tóxico para el	Monsanto	USA, Japón,	USA, Japón,	Canadá,

	gusano barrenador		Canadá, Argentina y Sudáfrica	Argentina y Sudáfrica	Japón, Holanda, Suiza, Argentina y Sudáfrica
Mon 809	Tolerancia al herbicida glifosato, resistente al antibiótico canamicina y toxina Bt	Pioneer Hi-Bred International, Inc.	Canadá, USDA y Japón	USA, Canadá, Reino Unido y Japón	Canadá, USA y Japón
DLL25 (B16)	Tolerancia al herbicida glufosinato de amonio	Aventis (AgrEvo)	USA, Canadá y Japón	USA, Canadá y Reino Unido	Canadá, USA y Japón
T14, T25 (ChardonL y Sheridan)	Tolerante a herbicida glufosinato de amonio conocido como Liberty o Basta	Aventis (AgrEvo)	USDA, Canadá, Japón y Argentina	USA, Canadá, Japón y Argentina T25	Canadá, Japón, Suiza y Argentina
Mon 802	Tolerante al herbicida glufosinato de amonio, resistencia a la canamicina	Monsanto	USDA, Canadá, Japón y Argentina	USA, Canadá, Japón y Argentina	Canadá, Japón, Suiza y Argentina
GA21	Tolerante al glifosato y resistente a la canamicina	Monsanto	USDA y Canadá	USDA	Canadá
PHI-CORN-IMI-IR	Tolerante a herbicida imidazolinona	Pioneer Hi-Bred International, Inc.	Canadá	Canadá	Canadá
CBH-351	Insecticida Bt	Aventis	USDA		USA

		(AgrEvo)			
MS6	Tolerante a herbicida y esterilización (reproducción haploide) y tolerante a glufosinato de amonio	Aventis (AgrEvo)	USDA		
MON80100	Insecticida Bt	Monsanto	USDA		
676, 678, 680	Esterilidad, tolerante a glufosinato de amonio Bt, resistente a la canamicina	Pioneer Hi-Bred International, Inc.	USDA		
GA21	Tolerante al glifosato	Monsanto	USDA, Canadá y Argentina	USA	Canadá
Event 176		Syngenta (Novartis)	USA, Japón, Canadá y Argentina	USA, Canadá, Japón, Argentina, Dinamarca, Suiza, Holanda y Reino Unido	Japón, Canadá, Suiza y Holanda
DBT418	Insecticida Bt	Monsanto	USDA, Canadá	USA, Canadá	Canadá

Tomado de www.foroendefensadelmaiz.galeon.com

Desde la campaña 98/99 se pueden sembrar maíces resistentes a los herbicidas Lightning y Elite (American Cyanamid) como el nuevo híbrido AX 888 IT o el primer maíz transgénico resistente a *Diatraea saccharalis* (barrenador del tallo) que se conocerá como Tilcara TD (de Novartis) con Bt incorporado. Probablemente si la Secretaría de Agricultura acelera el mecanismo de aprobación de este tipo de materiales, basándose en fundamentos de parámetros internacionales, especialmente USA, y se sigue autorizando el ingreso al sistema productivo de otros OMG tales como el girasol con el gen Bt que lo hace resistente a orugas (Novartis), la resistencia

transgénica de híbridos de maíz al Mal de Río Cuarto (varios criaderos y el INTA), y seguramente maíz RR ahora en el 2000/01 (de Monsanto) se permitirá cerrar todo el ciclo de rotación agrícola con la utilización de un solo herbicida (Benbrook, 2002)

Actualmente ya se cuenta con la aprobación del Maíz transgénico con presencia de resistencia a distintas plagas, comercializado por diferentes compañías como se muestra en la TABLA 6.

TABLA 6.- LIBERACIONES DE OMG EN AÑOS RECIENTES

Producto	Compañía	Alteración	Propósito	Fuentes de Genes	Aprobación Agencia	Aprobado Venta Producto
Maíz	Ciba Geigy	Resistencia al taladro	Control de insectos	Virus	Maíz, Bacteria, FDA Aprob EPA Aprob	USDA Aprob Maximizer
	Monsanto	Resistencia al taladro y glifosato	Control de plagas y malezas	Bacteria FDA Aprob EPA Aprob	USDA Aprob Se desconoce	Sí
	Hoechst	Resistencia al glufosinato	Control de malezas	Bacteria y virus	USDA Aprob FDA Aprob EPA Aprob	1995 Seed Link
	Mycogen	Resistencia al taladro	Control de insectos	Maíz, Bacteria, Virus	USDA Aprob FDA Aprob EPA Aprob	1995 NatureGard

Tomado de Pengue, 2000.

La resistencia a los herbicidas en el maíz será una de las tecnologías disponibles próximamente para el control de malezas. Serán maíces tolerantes a:

- Glifosato

- Glufosinato
- Imidazolinonas

El glufosinato de amonio, Liberty[®], es un producto herbicida moderadamente tóxico, de contacto y parcialmente sistémico, que actúa una vez absorbido inhibiendo la acción de la glutamino sintetasa, provocando la acumulación de amoníaco en la célula, que muere por los efectos fitotóxicos. El herbicida mataría también a los maíces no resistentes. Mientras tanto, los maíces Liberty Link (resistentes al glufosinato de amonio) tiene incorporado el gen PAT (Phosfinotricin Acetil Transferasa) que codifica la formación de la proteína PAT. Es un gen simple, dominante, aislado del *Streptomyces viridochromogenes*, que vive en el suelo. La proteína PAT, acetila el glufosinato de amonio, perdiendo efectividad la acción herbicida, de modo que no afecta a la enzima glutamino sintetasa pudiendo el cultivo metabolizar el amoníaco liberado (Dill, 2008).

Los maíces resistentes a imidazolinonas, IMI-Corn, no fueron desarrollados por Ingeniería genética, sino que se obtuvieron por cultivo de tejidos y selección de líneas resistentes, las que se retrocruzaron con material de elite, para la obtención final de híbridos de altos rendimientos.

La cuestión de cultivos tolerantes a los herbicidas significa la simplificación del control de malezas con uno o pocos principios químicos y su amplificación y utilización en un paquete tecnológico ya conformado: cultivo + herbicida.

Durante la temporada 99/2000 el aspecto más importante relacionado con los organismos genéticamente modificados liberados al medio, en la Zona Núcleo, tendrá que ver con la comercialización del híbrido de maíz Bt, la primera línea arsenal de plantas con propiedades insecticidas o resistentes a los mismos, de los que habría semilla disponible para abastecer hasta un 22 % del mercado local.

El aumento de la impopularidad de muchos insecticidas ha abierto la oportunidad para sus primos biológicos y la posibilidad de potenciarlos mediante técnicas de bioingeniería, abriéndose para las compañías un mercado promisorio.

El centro de los agentes de protección vegetal que ha llegado primero a la escala comercial ha sido el *Bacillus thuringiensis* (Bt). Formulaciones con Bt (por ejemplo el Dipel) se utilizan y son aceptadas por los productores orgánicos, cuya normativa es sumamente estricta.

Los insectos que hasta la fecha presentaban serios inconvenientes en su manejo con los insecticidas tradicionales son dos orugas conocidas en la zona como *Diatraea saccharalis* y *Elasmopalpus lignocellus*. Estos insectos pueden ser controlados con el Bt, muchas de cuyas formas no sólo son utilizadas en la producción agrícola, sino que su aplicación se ha ampliado con singular éxito al control de vectores (mosquitos).

A pesar que los insecticidas Bt convencionales funcionan tan bien como los insecticidas sintéticos, su performance no siempre es constante. El resultado errático de los insecticidas Bt, puede atribuirse a la sensibilidad de la toxina a la radiación ultravioleta que lo calienta y deseca, a la incompleta cobertura de los sitios de alimentación y a la reducción de la toxina frente a las larvas adultas. Modificando la planta de maíz, para producir su propia proteína Bt se superarían estas falencias.

Las plantas transgénicas que expresan genes insecticidas se presentan como una nueva herramienta para ser utilizadas en la estrategia del manejo integrado de plagas. Las plantas transgénicas ofrecen endotoxinas de una forma diferente de la manera en que se asperja el *Bacillus thuringiensis*. La larva se expone entonces más uniforme y constantemente desde más temprano. Las larvas neonatas son las más susceptibles, y están expuestas desde el momento en que comienzan a alimentarse de la planta (Wheelwright, 2001).

En el caso de los maíces con Bt, varios han sido los genes Bt, utilizados en biotecnología para el control de Lepidópteros:

Gen Bt	Controlan a:
Cry 1A-H	Lepidópteros
Cry 11A-C	Lepidópteros y Dípteros
Cry 111A-C	Coleópteros
Cry 1VA-D	Dípteros

En USA, durante 1997, los híbridos del maíz Bt que se comercializaron contenían el mismo gen Bt, denominado *Cry1Ab*. Después de modificaciones realizadas en el laboratorio, se obtuvieron los eventos que ya están siendo comercializados como el E176 (Ciba/Micogen), el Bt11 (Northrup King), Mon810 (Monsanto), DBT418 (Dekalb).

En USA, el evento E176 se comercializa bajo el nombre de Knockout y NatureGard y los Bt11 y Mon810 bajo la marca YieldGard.

Ya liberados al sistema desde hace tres temporadas en USA y ahora también aquí, algunas cuestiones en las que se deberá fortalecer el análisis del impacto del cultivo con el agrosistema tendrá que ver con:

- El manejo de la resistencia
- La reducción de la exposición de los insectos
- Las estrategias de prevención
- El manejo de dosis altas y generación de refugios
- Los impactos del maíz Bt y sus residuos sobre el suelo
- Los efectos sobre la producción orgánica

Es importante analizar la situación de los maíces transgénicos Bt, pues más allá de su importancia en el planteo productivo y rotacional, serán el antecedente inmediato a la soya insertada con el mismo gen o similar (Bt) (Pengue, 2000).

IV.2 Lugares de cultivo

Los centros de diversidad son regiones donde se concentra la mayor variedad o riqueza de poblaciones emparentadas con los cultivos agrícolas. Constituyen un reservorio de material genético que se puede incorporar en los cultivos comerciales por la fitotecnia tradicional. Por ejemplo, la mayor cantidad de parientes silvestres del maíz se encuentran en México, el cuál es el principal centro de diversidad de este cultivo. La diversidad de estos centros puede hallarse bajo la forma de parientes silvestres de la especie o variedades de los cultivos tradicionales (Álvarez-Buylla, 2004).

Las áreas de mayor diversidad frecuentemente, pero no siempre, coinciden con los centros de origen, esto es, las áreas donde los cultivos fueron primeramente domesticados por el hombre. Por ejemplo, México es tanto el centro de origen como el centro de diversidad para el maíz. Por otro lado, Etiopía es el centro de diversidad del trigo, cuyo centro de origen está en el medio este asiático (Figura 32).

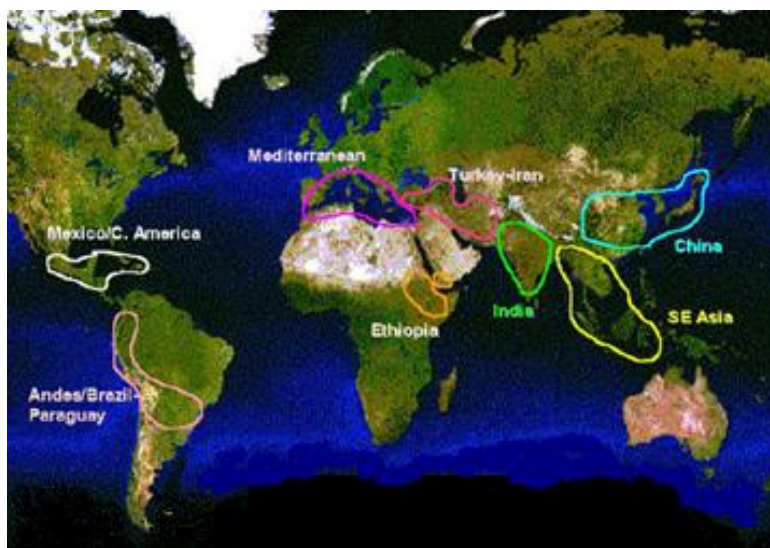


Figura 32. Centros de origen

La clasificación más citada y más completa de los centros de origen es la del biólogo ruso N.I. Vavilov, elaborada hace más de medio siglo, quien después de viajar por todo el mundo estudiando los cultivos, postuló ocho centros de origen.

Tomado de Pascual, 1996.

Los centros de diversidad son esenciales para la supervivencia y seguridad alimentaria mundial porque las especies silvestres proveen el material genético bruto para la búsqueda de nuevos caracteres y su adición mediante mejoramiento génico tradicional o bioingeniería en el cultivo. Si la diversidad tanto de los cultivos como de sus especies emparentadas no es asegurada, mucho de este material bruto no estará disponible para el mejoramiento y probablemente se perderá. La biotecnología puede mover genes de una especie a otra pero su probabilidad de crearlos es prácticamente inexistente (Sánchez-Velásquez, 2001).

La pérdida de biodiversidad está directamente relacionada con el desarrollo de la agricultura moderna. La biotecnología probablemente acelera la erosión genética por su facilitación en el mejoramiento y creación de variedades modernas. Se debería prestar una especial atención a la difusión de cultivos transgénicos en las áreas de biodiversidad y centros de origen de los mismos. Sería una posibilidad que si se permite la erosión genética, los centros de biodiversidad del mundo se transformen en nuevos desiertos, ahora biológicos. Desde los años 60, a nivel mundial, la revolución verde, con sus variedades de altos rendimientos y la aplicación sistemática de fertilizantes, agroquímicos y riego, permitió por cierto, aumentar la productividad. Sobre esta base, los agricultores reemplazaron sus variedades tradicionales cultivadas

por milenios, por unas pocas introducidas, perdiéndose valiosos recursos genéticos (National Academy of Sciences, 2002).

En Zimbabwe, dos variedades híbridas centralizan el 90 % del total de semilla de maíz producida, que ha desplazado a su vez variedades tradicionales de mijo y sorgo. En la India y Grecia los trigos tradicionales han virtualmente desaparecido por la expansión de pocas variedades de altos rendimientos importadas. La situación se produce en todas las áreas de cultivo del mundo.

En esta nueva revolución verde, la difusión global de cultivos transgénicos podría exacerbar la pérdida de biodiversidad por varios motivos. Porque los cultivos tradicionales que quedan, como sucedió previamente con los cultivares de altos rendimientos, pueden ser desplazados por poblaciones transgénicas que posean ventajas adaptativas. Esto es particularmente importante en el caso de poblaciones pequeñas con pocas especies emparentadas que pueden ser escasos repositorios de ciertos genes como ocurre con algunos parientes del maíz que se encuentran en pocos sitios de México. Además podría suceder que el flujo de genes a los cultivos silvestres, y la subsecuente selección humana por caracteres adaptativos ventajosos, contribuya a disminuir aún más la diversidad de las variedades tradicionales (Betrán, 2003).

Además de la presión para reemplazar los cultivos tradicionales por nuevos cultivos, puede intensificarse por la industria de la biotecnología agrícola la llegada de variedades transgénicas de los principales cultivos a todos los mercados del mundo. En Argentina, por ejemplo, el proceso de adopción de los primeros cultivares transgénicos de soya, no tiene antecedentes, superando incluso las adopciones exitosas de híbridos comerciales de maíz, que en promedio alcanzaban el 60 % del mercado luego de más de 5 o 6 años de su comercialización.

Casi 8 millones de hectáreas de maíz se plantan en suelos ácidos: 3 millones de hectáreas en América del Sur; 2.5 millones de hectáreas en Asia; 1.5 millones de hectáreas en África y cerca de 1 millón de hectáreas en México, América Central y el Caribe. Las variedades tradicionales del maíz rinden tan poco como la mitad de una tonelada por hectárea de grano en suelos moderadamente ácidos, con respecto a dos toneladas por hectárea, el promedio para los países en vías de desarrollo.

Durante finales de los años 70 a través del Programa Regional de América del Sur basado en el CIAT (Centro de Investigación Agrícola Tropical), el CIMMYT comenzó a

desarrollar variedades de maíz con la adaptación genética de los suelos ácidos. Durante los años 80, los investigadores identificaron y compaginaron características del maíz con el alto potencial de la producción, la tolerancia del suelo ácido y la resistencia o tolerancia a otras limitaciones clave. Con ayuda de programas de investigación y criamiento en cada nación, los investigadores entonces condujeron a la selección e intersecciones (cruces) recurrentes de millares de variedades superiores con cada población en un determinado número de sitios en Colombia, así como en suelos ácidos en Brasil, Indonesia, Perú, Filipinas, Tailandia, Venezuela y Vietnam (Pingali, 2001).

A principio de los años 90, las variedades experimentales de estas nuevas poblaciones fueron evaluadas en suelos ácidos y normales en América Latina, África y Asia, y comparadas con variedades de control local. Los genotipos del CIMMYT fueron cosechados bajo el control de las variedades por un promedio del 33 %, con una variedad experimental entregando las producciones más altas a través de todos los ambientes. En pruebas subsecuentes, productos de estos experimentos se cosecharon produciendo 700 kg por hectárea más que un híbrido brasileño bajo condiciones no ácidas en Colombia, demostrando que el maíz adaptado a suelo ácido es también productivo en suelos normales (Pingali, 2001).

El resultado más importante de esta investigación ha sido la nueva variedad de maíz, ICA-Sikuani V-110, desarrollada por la Corporación Agrícola Colombiana (CORPOICA) utilizando el maíz adaptado al suelo ácido generado a través del proyecto colaborativo de investigación. La variedad ha sido sembrada en miles de hectáreas en su nativa Colombia y se está probando para su uso en países vecinos.

En ensayos conducidos en campos de cultivos en áreas de suelo ácido de Ecuador y Perú, Sikuani se cosecho bajo las mejores variedades locales ambas bajo óptima administración y cultivo. Más recientemente, híbridos adaptados a suelo ácido derivados de la investigación del CIMMYT han producido tanto como el 70 % más grano que Sikuani, y deben probar el objeto de valor en Brasil, Colombia, y Venezuela, donde en muchos cultivos de maíz se siembran híbridos (Trueba, 2004).

Estas nuevas variedades e híbridos permitirían que los sistemas de cultivo sostenibles del maíz fueran establecidos en sabana (savanna) ácida y reduciría la presión para cultivar tierras marginales de bosque y ladera. Todo esto ayudaría a reducir el deterioro de regiones agrícolas frágiles y a facilitar la presión para reducir selvas tropicales para obtener tierras de cultivo adicionales (Pengue, 2000).

IV.3 Empresas que lo producen

En todo el mundo, los cultivos transgénicos son presentados por sus promotores, la industria biotecnológica y los científicos financiados por ella, como la nueva revolución tecnológica que traerá múltiples beneficios para la humanidad: prometen que aumentará los rendimientos en las cosechas y disminuirá el uso de agroquímicos, que producirá cultivos tolerantes a enfermedades, a sequía y suelos salinos, así como alimentos más nutritivos. Anuncian que será la solución para el hambre y la desnutrición en el mundo. Se enorgullecen de que es un fenómeno global porque en 6 años el área cultivada con transgénicos se multiplicó por 30, pasando de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a 52.6 millones de hectáreas en 2001 (Novás, 2005).

Recientemente, un representante de la Organización de la Industria Biotecnológica, escribía: “Hay una razón por la que los cultivos mejorados mediante la biotecnología moderna han sido adoptados mucho más rápido que lo nunca antes visto en la historia de la agricultura: la biotecnología da resultado, y lo que le da al productor es mayor libertad de elección, mayores ganancias y mayor sostenibilidad. De hecho, donde los propios agricultores se han podido expresar, la libertad de elección ha definido el ritmo meteórico de adopción de las variedades biotecnológicas” (Giddings, 2002).

La realidad de los transgénicos, sin embargo, contradice estas promesas, y el análisis riguroso de las estadísticas nos muestra aspectos que la industria biotecnológica y los científicos financiados por ella se empeñan en desconocer.

No se trata de un fenómeno global: los cultivos transgénicos no muestran aceptación por parte de la vasta mayoría de los agricultores que producen una gran diversidad de cultivos alimentarios a lo largo y ancho del mundo. Tampoco han aumentado los rendimientos más que marginalmente en casos específicos y por cortos periodos de tiempo. En la mayoría de los casos no han disminuido el uso de plaguicidas, lo han aumentado. La industria biotecnológica ha debido invertir enormes sumas en propaganda para forzar la aceptación de una tecnología introducida en el mercado prácticamente por una sola compañía multinacional, en regiones geográficas muy limitadas (Ribeiro, 2000).

Los cultivos transgénicos muestran:

- Sólo 5 empresas dominan la totalidad del mercado de semillas transgénicas plantadas comercialmente en el mundo hasta 2002: Monsanto, Syngenta

(Novartis + AstraZeneca), DuPont, Bayer (incluida Aventis) y Dow. (BASF se incorporó posteriormente). Estas cinco compañías están entre las 6 mayores productoras de agroquímicos del mundo, controlan 70 % del valor de ese mercado en el nivel mundial. Dos de ellas están simultáneamente entre las 8 farmacéuticas más grandes del mundo.

- Apenas cuatro cultivos de exportación, soya, algodón, canola y maíz, responden por casi la totalidad de semillas transgénicas cultivadas en el mundo.
- Tres países, USA, Argentina y Canadá, tienen el 96 % del área total de cultivos transgénicos, y si agregamos a China, se alcanza el 99 %.
- Dos características de modificación genética totalizan el área plantada comercialmente en el mundo; 77 %, es decir, más de las tres cuartas partes de los cultivos transgénicos plantados comercialmente en 2001 estaban manipulados con una sola característica: la tolerancia a herbicidas patentados por la compañía que vendió las semillas. Del resto, 15 % fueron manipulados para ser plantas insecticidas, introduciéndoles el gen Bt, y el 8 % restante fue una combinación de ambas características.
- Una sola empresa, Monsanto, vendió 91 % de las semillas transgénicas plantadas comercialmente hasta Diciembre de 2001.

Lo que mejor describe los cultivos transgénicos desde su introducción comercial en 1996 es la agricultura industrial, la concentración corporativa y la uniformación.

Más que libertad de elección, se trata de un virtual monopolio del mercado de semillas transgénicas, introducido en mercados prácticamente cautivos, donde la agricultura industrial ha establecido relaciones de fuerte dependencia de los agricultores con las compañías semilleras y de agroquímicos, por medio de sistemas de contratos y otras formas de dependencia estructural, tales como condicionamientos de compra, créditos o préstamos (Ribeiro, 2004).

La concentración corporativa es un fenómeno que no atañe solamente a los transgénicos, se ha venido acentuando en todos los rubros industriales en el último decenio. Desde 1990, el valor mundial de las fusiones y adquisiciones empresariales saltó de 462, 000 millones de dólares estadounidenses a más de 3.5 billones de dólares en el año 2000. Este valor global de fusiones y adquisiciones fue equivalente a 12 % del total del producto bruto mundial en el año 2000.

El poder de estas megaempresas multinacionales va mucho más allá del mercado. Utilizan su poder económico para ganar enorme poder político. Por alianzas, presencia de representantes de las corporaciones en gobiernos, dependencias estructurales (por ejemplo, deuda externa, tratados de libre comercio), presiones, o directamente corrupción o chantaje, los gobiernos se convierten en servidores de las corporaciones en vez de servir a los ciudadanos, convirtiendo la democracia en un apéndice nominal de la plutocracia. Los poderes económicos han ido tomando más y más esferas de las decisiones sobre la vida pública, tanto en los gobiernos nacionales como en los foros internacionales, cuyas asambleas se componen también de representantes de gobiernos. De esta forma van logrando, además de la dominación de mercado, que se formulen normas y legislaciones a su favor (Steinsleger, 2000).

Algunos ejemplos en cifras del desarrollo de la concentración en los sectores directamente vinculados con la alimentación, la agricultura y la farmacéutica que son los sectores donde las autodenominadas y mal llamadas industrias de la vida desarrollan productos transgénicos.

- Hace 20 años existían unas 65 empresas de agroquímicos que producían insumos agrícolas. Actualmente, las 10 mayores empresas de agroquímicos controlan 90 % del mercado mundial, valuado en 27, 700 millones de dólares por año (TABLA 7).
- Hace 20 años existían miles de empresas semilleras, la mayoría de ellas pequeñas empresas familiares. Ninguna llegaba a dominar 1 % del mercado mundial. Hoy, las 10 empresas de semillas más grandes del mundo controlan aproximadamente la tercera parte del comercio mundial de semillas, que factura anualmente más de 24, 000 millones de dólares estadounidenses (TABLA 8).
- En 1989, las 10 empresas farmacéuticas mayores controlaban 29 % de las ventas mundiales. Actualmente las 10 mayores controlan 58.4 % de las ventas, estimadas en 322 mil millones de dólares por año (TABLA 9).

Quiénes son actualmente las mayores empresas en el sector agroquímico, semillero y farmacéutico a nivel mundial:

TABLA 7. LAS 10 MAYORES EMPRESAS DE AGROQUÍMICOS EN EL MUNDO

Empresa	Venta de Agroquímicos 2001 (millones de dólares)	Porcentaje del mercado mundial
Bayer (incluye Aventis CropScience)	5, 600 <i>pro forma</i>	20.1%
Syngenta	5, 430	19.5 %
Monsanto*	3, 760	13.5 %
BASF	3, 240	11.7 %
Dow Agrosiences	2, 330	8.4 %
DuPont	2, 260	8.1 %
Arysta LifeScience (Tomen + Nichimen)	703	2.5 %
Makhteshim-Agan Industries	700	2.5 %
Sumitomo Chemical	580	2.1 %
FMC	560	2.0 %

*Farmacia se desprendió totalmente de Monsanto en agosto de 2002.

Tomado de Woodburn, 2002.

Las diez empresas agroquímicas más grandes controlan 90 % del mercado mundial, valuado en 27, 800 millones de dólares estadounidense. Las 10 mayores compañías de semillas controlan aproximadamente 30 % del mercado comercial de semillas, valuado en 24, 400 millones de dólares estadounidenses (estimación de International Seed Federation para 49 países).

TABLA 8. CORPORACIONES LÍDERES EN SEMILLAS A NIVEL MUNDIAL

Empresa	Venta de semillas 2001 (millones de dólares)	Total de ventas 2001 (millones de dólares)
DuPont (Pioneer) USA	1, 900	27 700
Monsanto USA	1, 700	5 500
Syngenta (Novartis + AstraZeneca) Suiza	938	6 323
Groupe Limagrain Francia	678	1 028
Savia (Seminis) México	450	702
Advanta Holanda	420	420
KWS AG Alemania	388	388

Delta & Pine Land USA	306	306
Sakata Japón	230 (estimado)	N/A
Dow USA	200 (estimado)	27, 800

Tomado de www.etcgroup.org

TABLA 9. LAS 10 MAYORES FARMACÉUTICAS A ESCALA MUNDIAL

Empresa	Ventas farmacéuticas 2001 (millones de dólares)	Porcentaje del mercado mundial
Pfizer + Pharmacia*	40, 786 <i>pro forma</i>	12.6
GlaxoSmithKline	24, 775	7.7
Merk & Co	21, 347	6.6
Bristol-Myers Squibb	19, 423	6.0
AstraZeneca	16, 480	5.1
Aventis	15, 844.7	4.9
Johnson & Johnson	14, 851	4.6
Novartis	11, 980	3.7
Wyeth	11, 716.5	3.6
Eli Lilly	11, 542.5	3.6

*Pfizer anunció en julio de 2002 que compraba Pharmacia.

Tomado de www.etcgroup.org

Las diez mayores compañías farmacéuticas tienen juntas 58.4 % del mercado mundial de ventas, valuado en 322, 000 millones de dólares para el año 2001.

En términos de control, es importante observar que muy pocas empresas dominan porcentajes importantes en cada rubro. Más significativo es que varias de ellas están simultáneamente entre las mayores en dos o los tres rubros. Son los mayores productores de transgénicos, razón por la cual en el Grupo ETC las denominan como los gigantes génicos. Las empresas agroquímicas y de semillas comenzaron el proceso de fusiones y adquisiciones mutuas con la idea de lograr mayor control de los compradores de sus productos: los agricultores.

Posteriormente, comienza una fusión con la industria farmacéutica que tiene su punto culminante en 2001, momento en el cual las cinco empresas que controlan la venta de semillas transgénicas estaban todas, simultáneamente, en el rubro farmacéutico. Este proceso se debió en parte a que los tres rubros parten de bases similares para la investigación y desarrollo de transgénicos, incluyendo las actividades de

bioprospección, o más adecuadamente llamada biopiratería, de recursos genéticos y conocimientos indígenas, que potencialmente podrían tener aplicación sea para modificación de semillas, como químico agrícola, en biorremediación o en farmacéuticos. Las fusiones les facilitaron también el acceso a las patentes que las diferentes compañías tenían sobre estos recursos y sobre genes o componentes de éstos. En el año 2000, Pharmacia (que entonces incluía Monsanto), DuPont, Syngenta, Dow, Aventis (actualmente propiedad de Bayer) y el Grupo Pulsar (ahora Savia), tenían 74 % de las patentes agrobiotecnológicas (Figura 33). En el año 2001, Pharmacia y DuPont hicieron un acuerdo para acceder mutuamente a sus patentes, logrando entre estas dos empresas controlar 41 % del total (Barreda, 2000).

Al contrario de lo que mercadean los promotores de los transgénicos sobre sus éxitos comerciales, Monsanto ha venido sufriendo pérdidas significativas en el valor de sus acciones, al igual que Seminis. Aventis tuvo que pagar más de 1, 000 millones de dólares para solventar el retiro del mercado de la variedad de maíz transgénico Bt Starlink, que pese a estar prohibida para el consumo humano en USA se colocó en la cadena alimentaria llegando a cientos de procesadores de maíz y a una gran diversidad de productos en venta al público (Ford, 2002).

La industria farmacéutica, que es el ramo industrial con mayores porcentajes de ganancias en el planeta, se mostró ansiosa por separarse de las mal reputadas productoras de transgénicos agrícolas, manteniendo en varios casos lazos más discretos que no afectaran su propia imagen. En el curso de los últimos años, Pharmacia se desprendió de Monsanto y DuPont vendió su división farmacéutica a Bistol-Meyers Squibb. Bayer, sin embargo, aprovechó la crisis para adquirir Aventis, comprándose así un lugar significativo en el negocio de las semillas transgénicas.

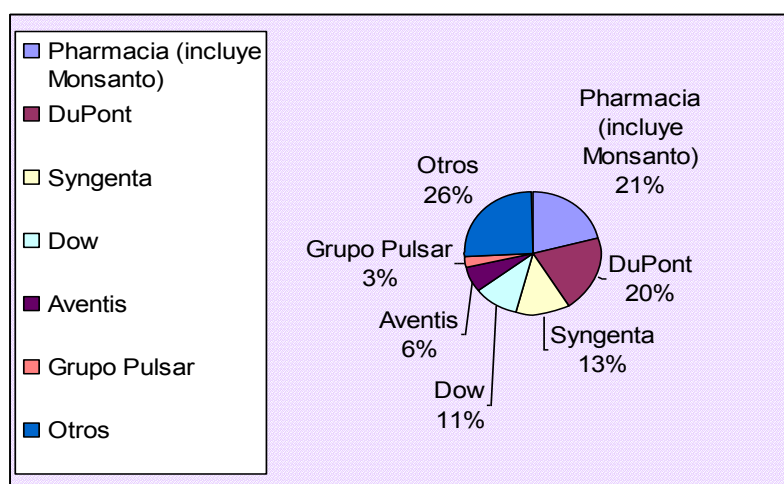


Figura 33. 74 % de las patentes agrobiotecnológicas son de 6 gigantes genéticos. Tomado de Grupo ETC. Globalización S.A., ETC *Communique*, núm. 71, julio/agosto de 2001, www.etcgroup.org.

Actualmente, los gigantes genéticos con importante presencia en agrobiotecnología son, como se señaló anteriormente, Monsanto, Syngenta, Bayer, DuPont y Dow. Con excepción de Dow, son las mismas empresas ue junto a la multinacional mexicana Savia, presidida por Alfonso Romo, integran la asociación civil Agrobio México, que dice tener como objetivo la promoción (¿desinteresada?) de la biotecnología agrícola en México.

Siendo las mismas empresas que fabrican la mayoría de los agroquímicos a escala mundial, es lógico que más de las tres cuartas partes de las semillas modificadas genéticamente, en lugar de ser resistentes a enfermedades o contener ventajas agronómicas o de nutrición, sean resistentes a sus propios herbicidas. Las mismas megaempresas que dominan este mercado y que nos han vendido agrotóxicos por decenios, ahora nos dicen que los transgénicos disminuirán o harán innecesario su uso (Ribeiro, 2004).

IV.4 Consecuencias en la biodiversidad

México supera a cualquier otro país en la riqueza de sus razas y variedades de maíz (CIMMYT). Existen 53 razas y 16 mil accesiones (cada variedad de semilla recogida en una comunidad determinada) o muestras de materiales mexicanos, con presencia endémica de sus parientes silvestres o teozintles. El teozintle se cruza con el maíz y ha tenido gran influencia en la formación de las principales razas de maíz.

Los agricultores y los fitomejoradores requieren de una base genética muy amplia para buscar características deseables de los cultivos. La causa principal de la disminución de la diversidad genética es la sustitución de variedades tradicionales por nuevas variedades homogéneas. Según datos de la FAO de las variedades locales de maíz que se conocían en México en 1930, sólo queda actualmente el 20 %.

El maíz es un cultivo de polinización abierta o cruzada, a diferencia de los otros cereales básicos como el trigo y el arroz que se autopolinizan. Cuando en el maíz se reproduce el polen de una planta fecunda a las plantas vecinas y todas las plantas de un campo de maíz serán diferentes de la generación anterior y entre ellas (CIMMYT). Bajo condiciones favorables el polen se puede trasladar grandes distancias y ser efectiva su fertilización.

A pesar de que muchos cultivos son genéticamente diversos, el maíz es notable por la extensión en que la diversidad genética se maneja en el nivel de la parcela. Es común

encontrar a cada parcela tres, cuatro, o quizá más variedades distintas de maíz. La selección y el intercambio de semillas entre los campesinos es de gran importancia y existe un flujo constante de material genético entre diferentes comunidades y áreas geográficas (Louette, 1997).

La contaminación transgénica amenaza la diversidad de razas de maíz ya que sólo es cuestión de tiempo el que las variedades de maíz nativo contengan transgenes (Figura 34). Según Ellstrand, el flujo de genes es capaz de contrarrestar otras fuerzas evolutivas como la mutación o la selección. Una consecuencia evolutiva del flujo genético es su tendencia a homogeneizar la estructura de la población. El flujo genético entre un cultivo de manejo industrial es más importante que la mutación.



Figura 34. A cinco años de que se descubrió la contaminación transgénica del maíz
Tomado de www.greenpeace.org.

La tasa de incorporación de alelos foráneos bajo esos niveles de hibridación parece ser de órdenes de magnitud mayores que los de una mutación típica. La homogeneización depende de si los alelos inmigrantes son neutrales, tienen ventajas o desventajas en el ambiente ecológico y genómico de la población que los recibe (Ellstrand, 2001).

El maíz transgénico estará intercambiando información genética con una gran variedad de maíces nativos. La velocidad de expansión de los transgenes depende del área plantada y de la cantidad inicial de maíz transgénico. Mientras la tasa de difusión sea mayor que cero, es sólo cuestión de tiempo el que los transgenes se introduzcan a todo el maíz convencional. Es muy fácil integrar nuevos genes al sistema pero es muy

complicado, si no imposible, erradicarlos (Serratos, 1997). No existen formas prácticas al alcance de los mejoradores o de los productores, para eliminar los genes no deseados de una población.

Varios especialistas en maíz han demostrado que ocurre el flujo de genes desde el maíz al teozintle. Según Ellstrand, el flujo de genes del maíz transgénico al teozintle puede tener como consecuencia su evolución como maleza agresiva o el aumento de la probabilidad de su extinción (De Ita, 2004).

Resulta de altísima prioridad saber a ciencia cierta si ha ocurrido ya flujo génico e introgresión de transgénicos locales. Dado que el flujo génico y la introgresión de variedades transgénicas a variedades locales de maíz que se usan para alimento humano o animal son claramente posibles, si no ya un hecho, es particularmente preocupante que pueda haber introgresión en variedades utilizadas para el consumo animal o humano por variedades creadas para producir sustancias industriales o fármacos (Figura 35). Estos desarrollos podrían afectar la seguridad alimentaria, de ahí que resulte prioritario evaluarlos y en su caso tomar medidas de contención o freno. Otros aspectos en los que resulta importante hacer más investigación por su posible impacto son: transferencia horizontal incluyendo la transferencia de la resistencia a antibióticos; acumulación en el ambiente de DNA desnudo, como posible desecho biotóxico, y posible inestabilidad genómica de los transgenes (Wilkes, 1996).



Figura 35. Se exige análisis exhaustivo del flujo génico e introgresión de transgénicos a los cultivos de Maíz en México. Tomado de www.greenpeace.org

Las poblaciones de especies silvestres conteniendo transgenes pueden conferirles ventajas adaptativas que les permitirán competir exitosamente con otros miembros de la comunidad e influir en la composición biótica del ecosistema.

Dependiendo de la complejidad de cada ecosistema, no sólo se producirá el desplazamiento de especies vegetales. Muchas otras poblaciones de organismos sufrirán un retroceso por desaparición de hábitats y nichos tróficos: Insectos dañinos o benéficos que se alimentaban sobre las plantas principalmente. Por supuesto al ingresar otras especies de microorganismos, plantas, insectos, pájaros y otros animales al nuevo medio ocuparán los nuevos hábitats creados por las plantas invasoras.

Serán muchos los microorganismos presentes en el espacio, bacterias, hongos, virus, dispuestos a ocupar nuevos nichos e interactuar con las especies invasoras, poniéndose nuevamente en juego los mecanismos de resistencia de las mismas.

Los múltiples efectos producidos por el flujo de genes y la inserción de una nueva especie reciben el nombre de efectos acumulativos y en cascada. Algunos ejemplos son conocidos:

En California, el agresivo crecimiento de ryegrass anual (*Lolium multiflorum*) sembrado para controlar la erosión en suelos con pendiente produjo un significativo cambio en la estructura del ecosistema llamado localmente chaparral. Durante la época húmeda, el *Lolium* creció a una densidad mucho mayor que la vegetación nativa. Inclusive soportó luego un incendio que destruyó a las semillas silvestres. Un segundo incendio eliminó a otras especies del chaparral antes que pudiesen reproducirse y regenerar los bancos de semillas. Consecuentemente, la estructura de la comunidad cambió drásticamente, perdiendo definitivamente a sus especies nativas.

Lythrum salicaria, una maleza introducida desde Europa en el siglo XIX. Ha demostrado su capacidad competitiva sobre las comunidades acuáticas en los USA causando cambios en ese ecosistema. Situaciones similares se plantean con diversas especies de camalotes (*Eichornia* sp.), que presentan un éxito reproductivo en las comunidades acuáticas y no sólo interactúan sobre las mismas sino que se han transformado en serios problemas económicos para la navegación y represas, como en Yaciretá (Metz, 2002).

Otra situación será el efecto depresivo que el flujo de genes tendrá sobre fragmentos o parches de ecosistemas naturales rodeadas por cultivos transgénicos. Ciertas

especies podrían recibir mucho más polen desde los mismos que desde sus propios congéneres, produciéndose introgresión génica. De mediar la asimilación de caracteres exitosos la nueva especie se construirá en dominante y competitivamente excluyente.

El efecto del flujo de genes sobre los centros de diversidad puede por cierto tener una influencia importantísima. La utilización de organismos genéticamente modificados en las mismas áreas de mayor riqueza de sus congéneres silvestres podría tener resultados impredecibles.

Este es el caso, para aquellos donde se conocen y están plenamente identificados los centros de origen, pero que sucedería si aún no están todos ellos identificados. Sería imposible proteger lo que no se conoce. Por ejemplo, hasta hace poco tiempo se consideraba que los centros de origen del zapallo eran América Central y del Sur y ahora también identificaron a los USA como otro probable centro de diversidad. Cosa parecida ocurrió con los centro de maíces amazónicos.

La nueva pregunta se podría plantear para una situación que nos toca de cerca, como lo es el caso del maíz. Cultivo importante en el planteo rotacional de la soya, necesario en los sistemas de manejo bajo siembra directa por su aporte de rastrojo y hospedante de muchos predadores naturales. Esta especie ingresará en la próxima temporada como transgénico resistente a herbicidas y ya tenemos el maíz Bt insecticida, en escala comercial (Pengue, 2000).

IV.5 Impacto socioeconómico

El maíz es el segundo cultivo transgénico en importancia después de la soya, ocupa el 19 % de la superficie plantada con cultivos transgénicos. En el mundo se siembran 140 millones de hectáreas de maíz y de estas 9.8 millones, equivalentes a 7 %, son de maíz transgénico; 87 % de la superficie de maíz transgénico está plantada con semillas propiedad de Monsanto, esto en el año 2001.

Durante los años 2000 a 2001, la superficie plantada con maíz transgénico en el mundo se redujo. Pasó de 11.2 millones de hectáreas en 1999 a 9.8 millones de hectáreas. Las mayores reducciones se dieron en USA y, según los expertos de las empresas biotecnológicas, se explican por los bajos niveles de infestación de la plaga

(barrenador europeo de maíz) durante 1999, la pérdida de confianza de los consumidores y los bajos precios del grano (James, 2005).

USA es el mayor productor de maíz transgénico, absorbe 77 % de la superficie de maíz transgénico en el mundo. De las 32 millones de hectáreas sembradas con maíz en USA, 7.5 millones (23 %) estuvieron cultivadas con maíz transgénico en el 2001.

El maíz es el cultivo más importante de México. Anualmente tres millones de campesinos, la mayoría (90 %) con parcelas menores a 5 hectáreas, producen 18.2 millones de toneladas, en una superficie sembrada de 8.5 millones de hectáreas.

Después de cincuenta años de revolución verde en el país, los híbridos o variedades mejoradas de maíz, únicamente utilizan el 15 % de la superficie, el resto se siembra con maíz nativo (CIMMYT). Éste es el mercado que las transnacionales semilleras quieren invadir.

Las empresas productoras de semillas transgénicas afirman que los cultivos genéticamente modificados representan significativos beneficios ambientales y económicos: aumento de productividad, reducción de costos, menores aplicaciones de insecticidas convencionales, sin impactos negativos sobre los ecosistemas (Figura 36).

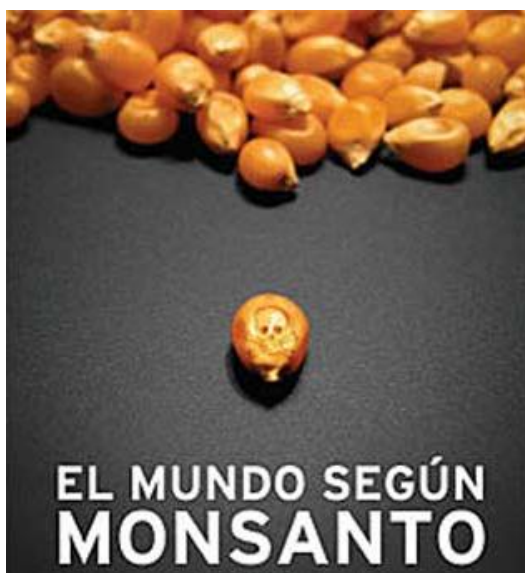


Figura 36. A pesar de lo que afirman las transnacionales se sabe que una vez abierta la puerta a los cultivos de Organismos Genéticamente Modificados (OGM), ya no hay vuelta atrás.

Tomado de Robin, 2008.

Durante el año 2001, en el mundo se sembraron 5.9 millones de hectáreas con maíz Bt, y 2.1 millones de hectáreas fueron de maíz transgénico resistente a herbicidas; las restantes 1.8 millones de hectáreas se plantaron con maíz transgénicos que combina la tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos (James, 2005).

El maíz Bt es el más importante en extensión sembrada, fue diseñado específicamente para controlar al barrenador europeo del maíz *Ostrinia nubilalis*, la plaga más importante de USA y Canadá, pero que en México no existe, la plaga más común en México es el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*. La agencia de protección ambiental de USA aprobó el maíz Bt en agosto de 1995. Su uso aumentó hasta 1999, antes de disminuir en el año 2001.

Los agricultores de USA han hecho varios análisis de costo beneficio, pues únicamente les conviene sembrar maíz Bt cuando tienen una infestación alta de barrenador europeo. Si no es el caso, el costo de las semillas transgénicas y la licencia es mayor que la reducción de pérdidas (las semillas Bt cuestan 14 dólares más por bolsa). Con una mínima incidencia de la plaga, la reducción del daño del barrenador es menor que el costo adicional del maíz Bt. El uso del maíz Bt únicamente está justificado cuando la población de barrenadores provoca daño mayor a una cavidad por cada dos mazorcas. En ausencia de la plaga, un maíz Bt reporta rendimientos iguales a los híbridos similares no transgénicos. Además la tecnología Bt puede reportar ganancias únicamente cuando los rendimientos son superiores a 8.4 toneladas de maíz por hectárea. Los rendimientos promedio en México para el año 2001, son de 4.6 toneladas por hectárea en riego y de 1.99 toneladas por hectárea en temporal (Wheelwright, 2001).

La adopción de esta tecnología esta también relacionada con el comportamiento de los precios. Si los precios son bajos, el uso de estas semillas no es rentable. Los precios del maíz mexicano se han reducido en 45 % en términos reales entre 1993 y 2001, en tanto que los precios internacionales se han reducido en 18 % a partir de 1999, respecto de los vigentes durante los primeros años del decenio de los noventa, sin considerar los años de precios más altos 1996-1998.

El maíz tolerante a herbicidas es el segundo más sembrado, pues reduce considerablemente el uso de mano de obra y equipo en el deshierbe, que resulta muy importante en la agricultura industrial de grandes extensiones de monocultivo. Es negocio redondo para las compañías como Monsanto pues la semilla está adaptada

para tolerar al herbicida RoundUp Ready a base de glifosato, que produce la misma compañía.

El maíz tolerante a herbicidas presenta problemas de comercialización y el RoundUp Ready de Monsanto no está aprobado para los mercados de exportación europeos. La Asociación de Productores de Maíz de Iowa recomienda a sus integrantes segregarlo y considerar los problemas de comercialización que enfrentarán, antes de decidirse a plantarlo.

Las empresas transnacionales que controlan los mercados avícolas mundiales fortalecieron su participación en el mercado mexicano de maíz a raíz del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLCAN) y de la desaparición de la empresa estatal comercializadora de granos básicos CONASUPO. Actualmente, operan en el país tres de los principales carteles de empresas industrializadoras y comercializadoras de maíz: Arancia-Minsa-Corn Products International; Maseca-Archer Daniels Midland (ADM)-DICONSA; Cargill-Continental. Estas empresas controlan las exportaciones de maíz de USA y son, a su vez, las principales importadoras de maíz a México y casi las únicas opciones de compra de las cosechas a los productores (De Ita, 2004).

Las importaciones de maíz han crecido exponencialmente durante el TLCAN, pasaron de 152, 000 toneladas en 1993, a 5.6 millones de toneladas en 2001. El gobierno mexicano durante seis de los ocho años de vigencia de TLCAN (1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001) eliminó los aranceles para las importaciones por arriba de las cuotas negociadas en el TLCAN para favorecer a estas empresas. Las importaciones presionan los precios internos a la baja, que se han reducido en más de 45 % durante el periodo TLCAN (1993-2000). Cargill está ligada a Monsanto el gigante mundial de semillas transgénicas, ADM está vinculada a Novartis. La liberación de la siembra del maíz transgénico en México les permitirá cerrar el círculo de dependencia campesina (Balbuena, 2002).

La siembra de maíz transgénico se inició en 1996 en USA, de esa fecha hasta el año 2001 puede considerarse estadísticamente que México ha importado 5.5 millones de toneladas de maíz transgénico. DICONSA distribuye anualmente más de 600, 000 toneladas de maíz, por medio de 300 almacenes rurales y 23, 000 tiendas comunitarias ubicadas en 93 % de los municipios del país. Más de 200, 000 toneladas distribuidas por DICONSA son de maíz importado, mientras que las restantes 400 mil provienen de comercializadoras privadas, que también pueden contener maíz importado y en menor medida de cosechas compradas a organizaciones de productores. DICONSA abastece maíz a la población rural que son consumidores,

pero también productores, sin ningún etiquetado que alerte sobre la posibilidad de contener granos transgénicos, ni les prevenga sobre riesgos de su siembra para las variedades nativas (Trueba, 2004).

Los agricultores y campesinos en distintas partes del mundo como Francia, India, Brasil y Canadá, enfocan su lucha en contra de los derechos de propiedad intelectual de las compañías biotecnológicas que les impiden mantener la práctica milenaria de seleccionar, conservar y replantar sus propias semillas. Percy Schmeiser es un agricultor canadiense demandado por Monsanto. La compañía afirma que plantó semillas Monsanto sin comprarlas ni pagar licencia. En realidad, el campo de Percy se contaminó con canola transgénica de los campos vecinos. Percy hasta ahora lleva perdido el juicio frente a Monsanto, a pesar de nunca haber comprado una semilla a Monsanto, ni haber firmado ningún contrato con esta empresa. El contrato de Monsanto les retira a los agricultores todos sus derechos, pero además, como es el caso de Percy, el contrato aplica aunque los agricultores no lo hayan firmado. En Canadá, Monsanto tiene una fuerza policiaca propia que la usa para imponer su contrato y además utiliza una carta de extorsión. La policía de Monsanto transgrede uno de los valores fundamentales del capitalismo, la propiedad privada (De Ita, 2004).

IV.6 Secuelas en la salud humana

Los últimos dos decenios del siglo pasado fueron de espectaculares logros y de tiempos difíciles para la biotecnología. Algo similar al asombro, las expectativas y los temores que vivió la sociedad del siglo XIX cuando Pasteur descubrió la naturaleza microbiológica no sólo de la producción de alimentos milenarios como la cerveza y el vino, sino también de las enfermedades como el ántrax y la rabia, lo que dio nacimiento a la microbiología como ciencia y al desarrollo de métodos para su manipulación y control, todo esto es importante señalarlo, en medio de una fuerte oposición a la pasteurización, que sólo podía ser aplicada por las empresas y amenazaba con desplazar a los pequeños granjeros; en medio también de un temor generalizado al encuentro con microorganismos infecciosos en aire, agua y el medio ambiente en general (Pridmore, 2000).

Algo similar sucedió a mediados del siglo XX cuando Florey y Chain lograron llevar a nivel industrial el descubrimiento de Fleming, es decir, la producción de penicilina mediante organismos en cantidades y volúmenes suficientes para satisfacer las necesidades de antibióticos que demandaban las víctimas de la segunda guerra mundial. Las expectativas fueron rebasadas con creces y los temores de que el uso masivo de antibióticos generase rápidamente agentes infecciosos resistentes e invencibles no se cumplió; de hecho, la industria biotecnológica ha encontrado

estrategias para contender con la generación de resistencia a los antibióticos surgida tanto de manera natural, como por consecuencia del uso irresponsable de los mismos (Daniell, 2001).

La industria biotecnológica se convirtió en tan sólo tres o cuatro decenios en una opción de proceso a la petroquímica para la producción de bienes y servicios, y la lista de productos que de ella derivan es muy amplia, e incluye ácidos orgánicos, aminoácidos, colorantes, vitaminas, gomas, edulcorantes, saborizantes, inoculantes para leguminosas, proteínas unicelulares, etc., una larga lista de productos industriales resultado de haber hecho de la microbiología una industria (Moses y Caope, 1991). Cuando el petróleo se agote, la biotecnología será sin duda la opción más atractiva para la producción de energéticos y materias primas.

Se señalaron estos dos grandes logros históricos para contextualizar los orígenes de la biotecnología moderna, cuyo nacimiento culmina en los años setenta del siglo XX, época en la que, como resultado del inexorable avance del conocimiento y de la necesidad inherente al ser humano de conocer el mundo, de conocerse a sí mismo y de aplicar este conocimiento en su propio beneficio, fue posible desarrollar metodologías para manipular la información genética de la célula. No paso mucho tiempo antes de que este conocimiento se concretara en aplicaciones de interés para la sociedad.

La investigación básica de hoy es la aplicada mañana y en la biotecnología esos tiempos se acortan, lo que resulta en una ventaja para países como México. Fue así como en los años ochenta del siglo XX se inició la producción de proteínas recombinantes que, para aplicar el léxico que los medios han adoptado para las plantas, deberíamos llamar también proteínas transgénicas. Gracias a desarrollos en esta área, millones de diabéticos en México y en el mundo ya no dependen de la insulina porcina para su tratamiento, lo que ocasionaba trastornos y riesgos, sino de un medicamento más natural, para seguir con el léxico de moda. De igual manera se puede citar el caso de quienes padecen hemofilia, de los anémicos o de quienes se recuperan de los estragos de la quimioterapia; a todos ellos, las proteínas transgénicas les cambiaron la calidad de vida. En más de un centenar de medicamentos en el mercado, resultado de la primera ola de productos transgénicos ha tenido un impacto en el sector salud cuyas dimensiones quizás la sociedad aún no alcanza a apreciar; en parte porque no las ha necesitado, en parte también porque no son económicamente disponibles para las mayorías. Existe una consecuencia adicional de gran impacto social y es el hecho de que esta primera ola de productos

acabó prácticamente con el despiadado y riesgoso mercado de las proteínas de la sangre (Bolivar, 2001).

Sin embargo, es frecuente leer o escuchar en los medios: genes de humanos o de animales expresados en bacterias, levaduras o en células de ratón dan lugar a proteínas que pasan al torrente sanguíneo o nos sirven de alimento, pero aún, estamos siendo usados como conejillos de Indias para la evaluación de productos de la biotecnología, e incluso, existen graves riesgos para la salud como consecuencia del consumo de alimentos transgénicos. Toda esta cruzada de desinformación ante una opinión pública no informada promueve ciertamente el desconcierto y la zozobra. Para las grandes mayorías, el que los genes formen parte sus alimentos es una novedad, y en el manejo de la información se aprovecha este hecho para infundir temores. Poca gente es consciente de que desde principios de la humanidad comemos no sólo proteínas, sino también genes: genes de maíz, trigo, soya, frijoles o de cuitlacoche, de jumiles y escamoles y de todas esas maravillas que conforman la dieta nacional (López-Munguía, 2000).

De hecho, se tiene poca conciencia de que desde principios de los años noventa del siglo XX las proteínas de interés alimentario fueron objeto de esta primera ola de tecnología, la primera de ellas que se aprobó para consumo humano en USA salió de una bacteria crecida industrialmente a cuyo genoma se introdujo el gen de una vaca. Esta proteína constituye lo que la gente conoce como el cuajo, producto que permite coagular la leche para obtener el queso. Claro que el consumidor difícilmente percibe el impacto de este desarrollo; quizás sí en la calidad del queso, o en su abasto, pero la gran mayoría conoce su origen, su función y los problemas de abasto, pues la proteína debía extraerse del cuarto estómago de las terneras. Curiosamente sí lo aprecian los vegetarianos, pues ahora ya pueden consumir queso, que hasta antes de la biotecnología moderna requería de un producto obtenido del sacrificio de un animal. Pues bien, la evaluación que se hizo de esta proteína transgénica en materia de seguridad alimentaria fue tan rigurosa que a casi 10 años de que entró en los mercados, incluido el mexicano, no ha existido el menor problema asociado a su consumo. A pesar de eso, las pruebas asociadas al consumo de proteínas se han hecho cada vez más rigurosas (Padilla, 2002).

Otro ejemplo es que se ha identificado un gen *R* de maíz que reconoce un agente patógeno de arroz, *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*, que causa la enfermedad de la raya bacteriana.

La Raya bacteriana es una enfermedad importante del arroz en Asia, y no simplemente fuentes heredadas de resistencia han sido identificados en el arroz. Aunque *X. o. pv. oryzicola* no causa enfermedad en el maíz, se ha identificado un gen de maíz, *Rxo1*, que en condiciones de resistencia reacciona a una diversa colección de cepas patógenas. Sorprendentemente, *Rxo1* también controla la resistencia a los patógenos relacionados con *Burkholderia andropogonis*, la cual causa una banda bacteriana de sorgo y maíz. El mismo gen controla así reacciones de resistencia a ambos agentes patógenos y no patógenos del maíz. *Rxo1* tiene un sitio de unión de nucleótidos ricos en leucina de estructura repetida, similar a muchos genes *R* previamente identificados. Más importante aún, las funciones de *Rxo1* después de la transferencia como un transgén al arroz, demuestra la viabilidad de la transferencia del gen *R* no hospedante entre los cereales y proporciona una valiosa herramienta para el control de la enfermedad de la raya bacteriana (Zhao, 2005).

Otro ejemplo más es la somatropina bovina, una proteína transgénica que inyectada a las vacas estimula la producción de leche. Éste es quizás un ejemplo donde claramente se muestra la necesidad de ser muy cuidadosos en separar el impacto que un producto alimentario puede tener en la salud, sus riesgos y sus alcances, su impacto económico y social. Así, es muy claro que cuando estados como Wisconsin en USA, declararon una moratoria al uso de la somatropina a mediados de los años noventa del siglo XX, lo hicieron claramente por el impacto que este producto tendría en el sistema productivo. Por otro lado, en la Unión Europea, la misma prohibición se dio ante el absurdo de introducir un producto que incrementara la producción de leche, de cuyos excedentes no saben cómo deshacerse, mas no porque el producto representase algún riesgo para la salud humana (Padilla, 2002).

Esta reacción a las consecuencias de la biotecnología, más no a la tecnología *per se* no nos es ajena. Es similar a la situación que se vive en la industria del azúcar: las importaciones y futuro libre comercio de la fructosa tienen un impacto brutal en el contexto económico y social de la industria de la caña de azúcar. Las medidas en materia de protección a dicho sector no requerirían de justificaciones basadas en supuestos efectos que el producto pudiera ocasionar a largo plazo en contra de la salud de los humanos, por el hecho de proceder de maíz transgénico o de haber sido obtenidas mediante procesos en los cuales se emplean proteínas producidas y mejoradas por ingeniería genética (hidrólisis del almidón a glucosa e isomerización de glucosa a fructosa); sino más bien lo que se haga al respecto y tiene la justificación de estar basado en una política con prioridades nacionales (James, 2005).

Desafortunadamente esto es justamente lo que pasa cuando lo biotecnológico se refiere a las plantas, en particular a plantas comestibles, es decir, a los alimentos transgénicos, resultado de la segunda ola de desarrollos de la biotecnología moderna. Dejando por un momento de lado los aspectos relacionados con su impacto ambiental, aspecto que también es abordado por expertos, se hará una referencia de manera particular a su impacto en la salud. En este sentido, existe un ambiente de desconfianza y de zozobra, resultado de la inagotable insistencia con que se repiten aquí y allá, rumores y asociaciones de la tecnología biológica con la imagen de Frankenstein; se habla de daños a la salud del consumidor, de resistencias a los antibióticos, de alergias, de cáncer, de la muerte de mariposas, del aumento en los casos de enfermedades que van desde el Alzheimer hasta las vacas locas, e incluso de embarazos transgénicos, todo esto sin que exista ninguna evidencia de tales efectos tóxicos (Ribeiro, 2002).

Ningún dato sobre alergenidad, cáncer, o cualquier otra enfermedad ha sido detectado como consecuencia del consumo de alimentos transgénicos, y quienes así lo afirman, lo hacen sin aportar evidencia alguna, como es el caso de los embarazos transgénicos (López-Munguía, 2003). Sin embargo, todos estos males parecen estar ya inexorablemente ligados en la mente del consumidor con los alimentos transgénicos; es necesario reconocer que esto es parte también de una crisis de credibilidad de las instituciones, y que es deber de los académicos tratar de restablecerla dado el carácter emocional que priva en la forma en que el público concibe el riesgo. Basta con dar lectura de las declaraciones que ha hecho la Organización Mundial de la Salud, grupos como el Colegio Americano de Nutriólogos o alguna de las decenas de documentos emitidos por instancias tales como las Academias de Ciencias (incluida la mexicana, la americana, la francesa y la Royal Society), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) y otras tantas asociaciones médicas (López-Munguía, 2003).

El público debe saber que, en materia de seguridad alimentaria, las reglas de evaluación son hoy más estrictas que nunca. Toca a los académicos vigilar los aspectos ambientalistas por ser ésta nuestra riqueza, pero en cuestión de seguridad alimentaria, ningún alimento en la historia moderna ha sido tan escrupulosamente revisado como los que resultan de la biotecnología moderna y existen protocolos recomendados por la FAO y la Organización Mundial de la Salud que sirven de referencia para su evaluación y aprobación como alimento (www.fao.org).

Para cada alimento se revisan aspectos agronómicos, químicos y nutricionales, así como bioquímicos, fisiológicos y genéticos. En breve, las técnicas de los microarreglos permitirán analizar incluso los patrones de expresión genética en las variedades modificadas. Por otro lado, en las pruebas nutricionales, las nuevas proteínas se analizan con animales de laboratorio alimentándolos con dosis que escandalizarían a cualquier miembro de sociedades protectoras de animales. Sólo cuando se ha demostrado su inocuidad en modelos animales es que son aprobadas para consumo humano (COFEPRIS, 2002).

Cuando se señala que ningún alimento ha sido tan cuidadosamente evaluado como los transgénicos, es de equivocarse. La ciencia ha revelado que ningún alimento es 100 % seguro y existen múltiples compuestos tóxicos en muchos de nuestros alimentos tradicionales. Tal es el caso de los frijoles, cuyo contenido de factores antinutricionales es tal que sí fuese un producto de la biotecnología moderna, por ejemplo con la proteína Bt, difícilmente pasaría las pruebas antes señaladas, debido a este arsenal de compuestos químicos. De ahí la necesidad de basarse en lo que se denomina la equivalencia sustancial. Es decir, que para iniciar la evaluación de cualquier alimento es necesario compararlo con la contraparte silvestre de la que proviene (www.biodiv.org/biosafety/protocol.asp).

¿Cómo aprovechar la riqueza de nuestra biodiversidad cuando todo pareciera apuntar al hecho de que para muchos la única alternativa y propuesta viable para conservarla es salirnos de ella?. No es difícil imaginar un escenario de mayor contaminación genética si no se forma a los productores en esta disciplina y se fijan reglas de una convivencia armoniosa y sustentable. Se requiere definir que sí y qué no se puede hacer; donde sí y dónde no; para qué sí y para qué no usar la biotecnología (Figura 37).

Las posturas de todo o nada, como en muchos otros aspectos de la vida, acabarían retrasando la oportunidad de desarrollar una estrategia nacional y, paradójicamente, permitirán que continúe el desaprovechamiento, pérdida o degradación, de nuestros recursos genéticos.

Necesitamos dar un paso hacia un ambientalismo sí, pero un ambientalismo científico. Aspirar a mejores condiciones de vida para todos, requiere de tecnología.

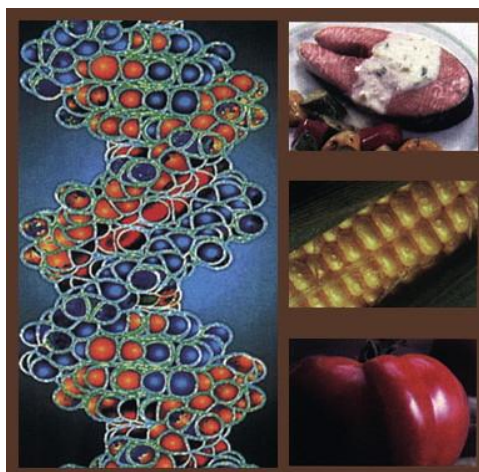


Figura 37. La biotecnología es una gran promesa y su potencial es enorme, por supuesto se corren riesgos y probablemente la ciencia deberá responder si ellos ocurren.

Tomado de www.nationalgeographic.com

La pregunta es ¿cuál? El planeta no da para más, de acuerdo con un artículo publicado recientemente en la revista Scientific American, se necesitarían 4 planetas Tierra si los 6,000 millones de terrícolas aspirásemos a vivir con el nivel de vida de alto consumo energético como en Occidente. ¿Cómo conjuntar, si no es con tecnología, productividad con sustentabilidad sin seguir cargándole el costo del crecimiento económico al medio ambiente? Por otro lado, no es la biotecnología, sino la humanidad la que está destruyendo la biodiversidad, lo que puede documentarse fácilmente dado el deterioro de bosques y selvas en el país, ya sea por sobreexplotación y corrupción, o bien por hambre (Wilson, 2002).

También hay un problema de calidad, aunque llegue el arroz, el maíz o el trigo, no llegan zanahorias, betabeles o tomates, y más de 400 millones de personas en más de 100 países incluido México sufren de deficiencias totales o parciales de vitamina A causante de ceguera nocturna. ¿Es ético no usar esta tecnología para tratar de atacar este problema? No es menos grave el problema de deficiencias de hierro, ante el escaso consumo de espinacas, lentejas o berros, millones de niños sufren anemia en México y el mundo. Se sabe ya cuál es la maquinaria que permite a las plantas bombear hierro del suelo, por lo que no está lejos una nueva generación de plantas que impacten directamente la salud en beneficio del consumidor o plantas que permitan sembrar en diversos ambientes hoy adversos para la producción agrícola, como las zonas áridas, de suelos salinos o ácidos, incluido el gravísimo problema de la cada vez menor disponibilidad de agua.

Plantas comestibles a las que se puedan eliminar los factores que causan alergia (como es el caso del gluten de trigo) o frutas del país que puedan hacerse resistentes al manejo para poder ser mejor distribuidas. Es inconcebible que cerca de 40 millones de seres humanos que padecen de hambruna en África rechacen la ayuda alimentaria, por el supuesto riesgo a largo plazo que podría ocasionar el maíz, que además de haber sido evaluado por numerosas instancias ajenas a las compañías que lo produjeron, ha sido consumido por millones de seres humanos, incluidos los mexicanos (López- Munguía, 2003).

CULTIVOS EN MEXICO

V.1 Daños y beneficios en especies nativas del maíz

Uno de los casos más graves de la contaminación génica salió a la luz pública en el verano de 2001. El gobierno mexicano por boca de su Comisión para OMG y Bioseguridad anunció que se había detectado contaminación génica de variedades indígenas de maíz procedente de maíces transgénicos importados de USA. Muestras de maíz procedentes de 22 localidades en el estado de Oaxaca revelaron en 15 de ellas contaminación génica, procedente de maíces transgénicos estadounidenses importados para su consumo alimentario. Durante más de tres años Greenpeace alertó sobre este peligro, frente a lo cual la respuesta de las autoridades mexicanas y de las compañías de transgénicos fue la habitual, no hay nada de qué preocuparse, tenemos todo bajo control. De nuevo, lo que supuestamente no podía ocurrir ha sucedido rápidamente: la gravedad especial del caso estriba en que México es precisamente el centro de diversidad natural del maíz, por lo que esta contaminación pone en peligro la estructura genética de los futuros cultivos (Quist y Chapela, 2001).

Una investigación organizada por comunidades indígenas y campesinas mexicanas en 2003 arrojó resultados todavía más preocupantes. Se analizaron más de 2000 plantas de maíz, provenientes de 138 comunidades campesinas e indígenas de nueve estados diferentes, Chihuahua, Morelos, Durango, Estado de México, San Luis Potosí, Puebla, Oaxaca, Tlaxcala y Veracruz. En 33 comunidades (24 % del total muestreado) de nueve estados se encontró alguna presencia de transgenes en el maíz nativo, con resultados en diferentes parcelas que van desde 1.5 % hasta 33.3 %.

En todas las comunidades que participaron en estos diagnósticos se practica agricultura campesina, usando mano de obra familiar y pocos o nulos insumos químicos. El maíz se destina principalmente al autoconsumo y se siembra en parcelas de entre una y dos hectáreas, a partir de semilla nativa propia. La mayoría de las comunidades se localizan en regiones apartadas de los centros urbanos. En esos nueve Estados que mostraron positivos se encontró contaminación coincidente con la proteína Bt-Cry₉C (Lambrecht, 2003), que identifica el maíz Starlink, de la empresa Aventis (de Bayer), prohibido para consumo humano en USA, también se encontraron en esos mismos Estados contaminación con otras cepas de *Bacillus Thuringiensis* (Bt), utilizada para maíz transgénico Bt, entre otras por las empresas Monsanto y Novartis/Syngenta y positivos para la proteína CP4-EPSPS de Monsanto, que indica maíz transgénico con resistencia a herbicida (Academia Nacional de Ciencias, 2002).

Los análisis fueron realizados con equipos de detección comerciales de la marca AGDIA (Test Das Elisa), primero realizados por las propias comunidades y organizaciones, con apoyo de biólogos de la UNAM y más tarde con el mismo tipo de equipos, a cargo de una empresa que los distribuye en México.

“Nuestros análisis coinciden con la contaminación del maíz nativo que se había dado a conocer al público anteriormente, por los investigadores Chapela y Quist de la Universidad de Berkeley y por el INE-CONABIO. Ahora vemos que la contaminación existe además, como mínimo, en el Sur, Centro y Norte del país”, dijo Ana de Ita del CECCAM (Centro de Estudios para el Cambio en Campo Mexicano), y agregó: “Esto es apenas una pequeña muestra, pero nos indica la gravedad del tema: si tomando muestras al azar de algunas decenas de comunidades indígenas y campesinas, en zonas alejadas de los centros urbanos y en comunidades que usan su propia semilla nos muestra contaminación, el problema entonces es mucho mayor. La presencia de Starlink es especialmente grave porque estaría en el maíz que consumen las comunidades. Las plantas en varias comunidades que contenían dos, tres y hasta cuatro transgénicos en forma concomitante, indican que la contaminación tiene muchos años y que el maíz campesino contaminado se ha estado cruzando por muchas generaciones para haber podido incorporar todos estos eventos diferentes en su genoma” (www.etcgroup.org).

En junio del 2000 el gobierno de Nueva Zelanda, un país decididamente amigo de la Ingeniería genética, como USA, admitió que en su territorio se estaban desarrollando al menos un centenar de experimentos ilegales con transgénicos. En octubre de 2000, análisis de productos alimentarios en Reino Unido y Dinamarca detectaron la presencia de un maíz transgénico (el GA21 de Monsanto) cuya comercialización no está en Europa.

En septiembre de 2000 se descubrieron en restaurantes y tiendas de USA alimentos preparados de Taco Bell (distribuidos por Kraft, que pertenece a la transnacional del tabaco y la alimentación Philip Morris) que contenían maíz transgénico no apto para el consumo humano. Se trataba, en concreto, del maíz insecticida StarLink (Cry₉C) de Aventis (Figura 38), una variedad que en USA puede emplearse para alimentar animales, pero no seres humanos. La EPA (Agencia de Protección Ambiental estadounidense) justificó esta restricción indicando que Cry₉C muestra algunas características de los alérgenos conocidos, como la estabilidad ante el calor y la resistencia a los ácidos y enzimas estomacales (Lambrecht, 2003).



Figura 38. Variedad de maíz transgénico con propiedad insecticida

Tomado de www.slfruitnveg.com.au

Casi el 5 % de la producción de maíz estadounidense resultó estar contaminada con Starlink, por dos vías: tanto por granjeros que vendían el Starlink a los intermediarios sin avisar que se trataba de esta variedad, como por contaminación genética de los campos de maíz circundantes, la retirada de los productos contaminados, más de 300 tipos de alimentos a base de maíz, y los efectos que causó este incidente sobre los mercados agropecuarios, han costado aproximadamente 1,000 millones de dólares a la agricultura estadounidense (Wheelwright, 2001).

Por añadidura, los riesgos en el Norte acaban siendo exportados al Sur, según se ha visto recientemente en una secuela del caso Starlink, cuando variedades de este maíz prohibido para el consumo humano fueron a parar a la ayuda alimentaria del programa PL-480 en Bolivia. En efecto, en el verano de 2002 el Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en cooperación con la organización ecologista internacional Amigos de la Tierra, envió a analizar muestras de una mezcla de harina de maíz y soya procedente del Programa de Ayuda Alimentaria de la PL-480. Resultado: positivo para maíz Starlink, la variedad transgénica que nunca fue autorizada para consumo humano en USA; y positivo también para otras dos variedades de maíz no aprobadas en la Unión Europea: la Round Ready y la Bt Extra de Monsanto. Lo que resulta particularmente indignante es que estos alimentos prohibidos en USA y Europa son destinados a los más vulnerables, a los más pobres del planeta: de esta manera, transnacionales y gobiernos pro-transgénicos convierten la pobreza en receptáculo de basura transgénica y a los pobres en conejillos de indias (Riechmann, 2004).

El riesgo que conlleva la utilización de cultivos transgénicos, es que se produzca el flujo de genes desde la planta original hacia otras plantas que se encuentren alrededor de ella, de tal manera que se puedan transformar en supermalezas provistas de una gran resistencia para ser eliminadas por sus depredadores naturales o por los plaguicidas, convirtiéndose así en incontrolables. Estos genes se pueden transmitir a través del polen de plantas transgénicas por medio de los insectos o del viento y fecundar a otras plantas no transgénicas de la misma especie, lo que conlleva una serie de daños potenciales para los agricultores tradicionales y para los que aplican la agricultura ecológica o a otras plantas silvestres emparentadas genéticamente o lo más preocupante, a otras plantas silvestres de especies diferentes. Tales intercambios génicos entre malezas silvestres y cultivos emparentados ya ocurren (como el teozintle y el maíz), aunque se desconoce todavía cuales serán sus consecuencias. De todas maneras, las investigaciones realizadas hasta ahora no han detectado ningún comportamiento anómalo alrededor de los campos de maíz, aunque sí se sabe de algunos casos concretos muy preocupantes, como en Canadá donde algunos campesinos señalaron que la colza transgénica se había escapado de los límites de sus cultivos y había invadido campos de trigo como si se tratara de una mala hierba (Ellstrand, 2001).

Sin embargo los riesgos en las especies nativas pueden suceder al ser transmitida la modificación transgénica, desaparecer las plantas silvestres al ser contaminadas (bioinvasión) y una vez contaminado el medio no se puede limpiar, los efectos de los transgenes en las plantas silvestres son absolutamente imprevisibles, esto ocasionaría la desaparición de la biodiversidad (Novás, 2005).

En un artículo del Springer Science+Business Media, donde el Dr. David Lightfoot y su equipo publicaron que una modificación génica en el metabolismo de nitrógeno vía bacteriana del NADPH el glutamato deshidrogenasa (GDH; E. C.4.1.2.1) favorablemente altera el crecimiento y el metabolismo de las plantas C3. El objetivo de este estudio fue examinar el efecto de expresión de GDH en el compartimiento del citoplasma de las células de *Zea Mays*. El gen *gdhA* de *Escherichia coli*, que codifica una NADPHGDH, se ligó al promotor de la ubiquitina incorporando al primer intrón potenciador y utilizándolo para transformar el cultivo de embriones H99 de *Z. mays* por biolística (Lightfoot, 2007).

En este estudio se muestra que las generaciones R0-R3 incluidas las endogámicas autofecundadas, cruzan las líneas puras y los híbridos con los derivados B73. Las líneas con mayor GDH producen actividad específica en plantas infértiles R0 y la mayor actividad específica de GDH de las plantas de *Z. mays* fértiles fue suficiente para alterar los fenotipos.

Los resultados obtenidos dan a conocer que los daños causados en las plantas por el herbicida fosfotricina tipo glufosinato, e inhibidores como la glutamina sintetasa (GS, EC 6.1.3.2), son menos pronunciados en las plantas de *Z. mays* con el patógeno *gdhA* que en plantas con el patógeno *gusA*. La germinación y la biomasa de granos incrementaron la producción en plantas transgénicas con *gdhA* en el campo durante la temporada con deficiencias significativas de agua, pero no en todas las localidades. La tolerancia a la deficiencia de agua bajo condiciones controladas fue aumentando. Los cultivos se modificaron con *gdhA* que puede tener valor en lugares semi-áridos. Las líneas Transgénicas puras se generaron en Garst Inc. (Slater, Iowa) por científicos de SIUC. Las líneas híbridas se obtuvieron de Garst Inc. y también fueron generadas por las líneas puras en SIUC.

Para la transformación del plásmido de maíz pUBGP1 que contiene *gusA* y pUBGDH1 que contiene *gdhA* se utilizó la transformación del cultivo de embriones inmaduros derivados de la línea pura de FH24 (H99) de *Z. mays* por biolística. Un centenar de plantas fueron regeneradas a partir de cada plato. De entre estas mil plantas diez transformadas con *gdhA* expresaron la actividad detectable GDH y fueron seleccionadas para la caracterización detallada.

Las líneas de expresión de *gdhA* utilizadas fueron derivadas de líneas primarias transgénicas (R0), así como las líneas autofecundadas R1, las líneas autofecundadas R2, las líneas autofecundadas R3 o así como los híbridos R2 con B73. Uno de los objetivos de la biotecnología es aumentar la eficiencia de asimilación de nitrógeno y otros nutrientes inorgánicos por las plantas.

El aumento de rendimientos, la reducción de los impactos ambientales del uso de abonos nitrogenados y la reducción de efectos en la salud asociados con nitrógeno en las dietas y en los ambientes son resultado del objetivo (Doebley, 1980). La enzima GDH de NADPH dependiente codificada por el gen *gdhA* de *E. coli* cuando se expresa en el maíz puede alterar el rendimiento en algunos años. El aumento de rendimiento relativo fue mayor en el medio ambiente con la mayor parte del estrés del agua, por lo

tanto el aumento de rendimiento puede ser causado por el mejoramiento a la tolerancia del estrés (Ameziane, 2000).

Puede haber varios mecanismos por los que el *gdhA* podría añadir tolerancia al estrés de la planta. Por ejemplo, la tolerancia adicional a la fosfotricina puede ser la base a contribuir el aumento del rendimiento. En este caso las plantas *gdhA* pueden tolerar suelos débilmente fitotóxicos que contiene *Streptomyces* que producen mejor PPT (fosfotricina). Sin embargo, el gen *gdhA* ayudó a que el maíz pudiera soportar el estrés causado por el déficit de agua en condiciones controladas, donde los suelos eran idénticos. Además, los efectos de crecimiento fueron similares a los observados en las plantas C3, probado previamente (Ameziane, 2000, Acero, 2002 y Bruce, 2002). Se concluye, que el ligero aumento de tolerancia no parece contribuir a la producción (Lightfoot, 2007).

V.2. Sistemas de transformación de plantas transgénicas

La tecnología de transformación de plantas se ha convertido en una plataforma para conseguir la mejora de cultivos, así como para llevar a cabo el estudio de la función de los genes en las plantas. Este éxito representa la culminación de muchos años de esfuerzos en mejorar las técnicas de cultivo de tejidos, las técnicas de transformación y la ingeniería genética.

La obtención de plantas transgénicas es posible gracias a una característica propia de los vegetales: la totipotencia, según la cual cualquier célula de un vegetal tiene el potencial de regenerar una planta completa. En 1956, se descubrieron las hormonas vegetales, las citoquininas, lo que permitió desarrollar el cultivo de tejidos vegetales *in vitro*. Las células vegetales se pueden cultivar en un medio artificial y en condiciones estériles (para evitar infecciones de patógenos) que aporte los nutrientes necesarios para las divisiones celulares y la proliferación vegetativa. Existen tres aproximaciones para regenerar plantas completas *in vitro*:

- El cultivo de embriones: Aislamiento de embriones zigóticos propiciando su crecimiento como planta en un medio artificial,
- La embriogénesis somática o asexual: Generación de embriones a partir de tejidos somáticos, como microesporas u hojas y
- La organogénesis: Generación de órganos como tallos o raíces a partir de diversos tejidos

Dado que la manipulación génica requerida para introducir los transgenes actúa a nivel celular, es necesario desarrollar una tecnología de cultivo de tejidos *in vitro* adecuada para cada especie vegetal. De este modo, las células inicialmente transformadas regenerarán, mediante propagación vegetativa, una planta completa donde todas las células contendrán el transgen. Precisamente este paso es el factor limitante en la obtención de plantas transgénicas de determinadas especies.

Sistemas de transformación de plantas

Hoy en día existen tres técnicas que permiten obtener plantas transgénicas:

- 1.-Transformación de protoplastos,
- 2.-Transformación biolística (o bombardeo de microproyectiles) y
- 3.-Transformación mediante *Agrobacterium*

El uso de cada técnica viene condicionado por el tipo de planta, ya que no siempre se han conseguido éxitos con los tres sistemas. Cada técnica se ha desarrollado con sistemas modelo, es decir con especies de plantas en las que las condiciones de manipulación y regeneración están bien establecidas, y para cada nueva especie es necesario establecer empíricamente las condiciones más efectivas y el mejor método de transformación.

1. Transformación de protoplastos. Se denominan protoplastos a las células vegetales desprovistas de pared celular. Su obtención se lleva a cabo mediante procesos mecánicos y enzimáticos de eliminación de la pared celular. Por ejemplo, se pueden obtener protoplastos de tabaco o petunia a partir de hojas, mediante la retirada de la epidermis y el tratamiento con celulasas y pectinasas (enzimas que digieren los componentes de la pared celular vegetal) en medio isotónico, para evitar su rotura (al carecer de pared no son capaces de soportar cambios osmóticos).

Mediante este proceso se obtiene una suspensión con millones de células individuales susceptibles de ser transformadas. Los protoplastos se mantienen en un medio de cultivo y se adiciona el gen que se ha de transferir. Para conseguir la penetración del transgen es necesaria la permeabilización de la membrana, que se lleva a cabo mediante distintos procesos:

-Electroporación: Consiste en aplicar al protoplasto descargas eléctricas de manera que la membrana se despolariza y se crean diminutos poros por los que puede penetrar el DNA,

-Tratamiento con polietilenglicol para desestabilizar la membrana celular y

-Fusión con la membrana de liposomas que contengan el DNA a transferir.

Una vez incorporado el DNA, se requiere cultivar los protoplastos para permitir su división, y en las condiciones que permitan conseguir la regeneración de la planta que ha incorporado el transgen.

2.- Transformación biolística. Se denomina biolística o bio-balística a la introducción de DNA en células mediante la aceleración (disparo) de proyectiles de tamaño muy pequeño (microproyectiles). Generalmente los microproyectiles tienen alrededor de una micra (10^{-6} m) de diámetro y son de un material inerte (oro o tungsteno). Los microproyectiles se pueden recubrir de DNA y se pueden acelerar mediante pólvora, una descarga eléctrica, o utilizando gases a presión (por ejemplo helio comprimido). De esta forma se puede introducir DNA en prácticamente cualquier tejido de cualquier especie vegetal.

No obstante, el proceso tiene una desventaja, la falta de control sobre la integración del gen en el genoma de la planta. Puede suceder que el transgen se rompa durante el proceso y por tanto se integren fragmentos del DNA de partida, o que se integren demasiados transgenes y por tanto la planta reaccione silenciándolo, es decir, impidiendo que el gen se exprese.

3.- Transformación con *Agrobacterium*. El co-cultivo de células o tejidos con *Agrobacterium tumefaciens* es el procedimiento más utilizado para transformar plantas dicotiledóneas. Hasta hace muy poco no era posible emplearlo en monocotiledóneas, grupo que abarca a las gramíneas, muy importantes en la nutrición humana, pero ya se ha conseguido con arroz y maíz.

Las bacterias del género *Agrobacterium* que son patógenos de plantas capaces de inducir una malformación llamada tumor de agalla. Penetran en los espacios intercelulares a través de pequeñas heridas presentes en la planta, atraída por sustancias que la planta excreta en sus zonas abiertas. La formación del tumor tiene lugar por la transferencia a los núcleos de las células infectadas de un segmento de DNA presente en un plásmido del *Agrobacterium*, el T-DNA. De esta forma, la bacteria establece con la planta una especie de colonización genética, obligándola a fabricar una sustancia de la que sólo se puede nutrir el *Agrobacterium* y que es segregada en el tumor.

El estudio del plásmido mencionado, permitió observar la existencia de genes de virulencia y de genes inductores de tumores. Estos últimos están flanqueados por unas secuencias de nucleótidos características en el borde izquierdo y derecho. Mediante manipulación génica se consiguió obtener cepas de *Agrobacterium* sin genes tumorales pero manteniendo los bordes izquierdo y derecho. De esta forma, cualquier gen integrado dentro de estos bordes será transferido a las células de la planta.

Una vez introducido el transgen en el *Agrobacterium*, es necesario proceder a co-cultivar las células de la planta con la bacteria. Para ello se emplean tejidos vegetales que deben ser heridos con el fin de activar los genes de virulencia bacterianos y así inducir la introducción del transgen. Los tejidos vegetales empleados pueden ser de hoja, de cotiledones, fragmentos de tallo o incluso semillas en germinación.

Este sistema es más fiable que otros, ya que la transformación es más estable y sólo se introduce una copia del transgen.

Selección de transformantes. Todos los sistemas de transformación desarrollados hasta el momento requieren seleccionar aquellas plantas que contengan el transgén introducido, eliminando el resto. El sistema más sencillo es incorporar al transgen otro gen con resistencia a un antibiótico o a un herbicida, de forma que, al realizar el cultivo *in vitro* en presencia del agente de selección (antibiótico o herbicida), se garantiza que únicamente sobrevivirán aquellas que hayan sido transformadas.

Este método de selección ha provocado el rechazo por parte de ciertos sectores de la opinión con el argumento de que su uso haría proliferar la presencia en la Naturaleza de genes de resistencia a antibióticos o herbicidas. Para evitar esta crítica en los últimos años se han desarrollado técnicas de selección que no necesitan del uso de estos genes de resistencia. Por ejemplo se han utilizado genes que confieren a los tejidos transformados la capacidad de utilizar como nutrientes fuentes de carbono diferentes a las habituales. De esta forma, si en el medio de cultivo se incluye únicamente la fuente de carbono selectiva, sólo prosperarán aquellas células que contengan el transgen (Hansen, 1999).

Tres características de la biotecnología agrícola que resultan de particular interés para esta investigación, son:

- Los procesos para su desarrollo son complejos, pero también puede ser compleja su utilización *per se*,
- Las agrobiotecnologías son susceptibles de ser apropiadas tanto de derecho (mediante diferentes esquemas de propiedad intelectual) como *de facto* (utilizando diversos sistemas de protección tecnológica) y
- Los productos y procesos agrobiotecnológicos pueden ser percibidos como riesgosos por diferentes actores.

La primera es la única característica que puede ser considerada como inherente a este tipo de biotecnología, ya que las otras dos resultan de una serie de decisiones tomadas por diferentes actores que participan en el desarrollo y uso de esta tecnología que pueden ser tanto revertidas, como reforzadas. En la situación actual, estas características de apropiabilidad y riesgo tienden, además, a incrementar la complejidad de la biotecnología agrícola, desde su desarrollo hasta su utilización ampliada (FAO, 1999).

Pero no se trata de eliminar aspectos regulatorios en materia de bioseguridad para reducir la complejidad de esta tecnología y favorecer su utilización sin control; se trata de establecer nuevos criterios para la identificación de oportunidades de desarrollo que incorporen las preocupaciones expresadas por diferentes actores acerca de los posibles efectos de estas innovaciones en la salud, el ambiente, la práctica agrícola, la economía y la sociedad; es decir, se trata de analizar las posibilidades que existen de ampliar la base de la participación social a lo largo del desarrollo y uso de este tipo de tecnologías, que hagan posible su reorientación hacia objetivos de beneficio social más amplio (Altieri, 2001).

El manejo de los aspectos de apropiabilidad y riesgo, además, plantea requerimientos en materia de recursos y organización que están incrementando la complejidad a lo largo del desarrollo y uso de las agrobiotecnologías, lo cual provoca efectos sociales importantes, tanto a nivel individual como institucional. De particular interés para México son los posibles efectos en materia de complejidad regulatoria, en la confianza hacia las instituciones, en la concentración de poder de diferentes actores, en el derecho a elegir de los consumidores, en la participación de individuos y grupos en el control de dicha tecnología y en el acceso a la misma.

En la TABLA 10 se presentan cuatro grandes categorías de productos de la biotecnología agrícola y los procesos para su obtención. La categoría III engloba a productos simples obtenidos mediante procesos complejos como los involucrados por las nuevas técnicas de la biotecnología, pero que no son percibidos como riesgosos; esto es, productos que no utilicen construcciones genéticas percibidas como problemáticas. Las plantas así obtenidas podrían, a su vez, ser utilizadas en procesos simples de retrocruza o propagación clonal, lo que daría lugar a productos obtenidos por procesos simples como los englobados en la categoría I (Aguirre, 2004).

Las categorías I y III son las que tendrían mayores posibilidades de revitalizar sectores primarios tanto en países desarrollados como en los de menos grado de desarrollo, ya que no habría razón, en principio, de que fueran percibidas como riesgosas, por lo que no se requeriría una infraestructura compleja de evaluación y control. En términos de propiedad intelectual se buscaría que estos productos no tuvieran restricciones, aplicaciones de tecnologías que no fueran de interés para que los que posean los derechos de la tecnología, aplicaciones del dominio público, etc., por lo que no requerirían de los complejos controles que actualmente son necesarios para garantizar una apropiación *de facto* a quienes poseen los derechos legales.

TABLA 10. CATEGORIAS DE PRODUCTOS DE LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA Y PROCESOS PARA SU OBTENCIÓN

CATEGORÍA I	CATEGORÍA II
Productos simples a partir de procesos simples	Productos complejos a partir de procesos simples
Plantas obtenidas a partir de plantas modificadas que no se presentan riesgos Ni requieren controles en materia de apropiabilidad.	Plantas obtenidas a partir de plantas transformadas por las nuevas técnicas pero que son percibidas como riesgosas o con problemas de apropiabilidad

CATEGORÍA III	CATEGORÍA IV
Productos simples a partir de procesos complejos	Productos complejos a partir de procesos complejos
Plantas modificadas por la Biotecnología moderna pero que no son percibidas como riesgos ni requieren controles mayores para efectos de apropiabilidad.	Plantas modificadas por la Biotecnología moderna que son percibidas como riesgos o requieren controles mayores para efectos de apropiabilidad.

Tomado de Adaptado de Rycroft y Kash. Aguirre, 2004.

En ese sentido, el curso que han tomado las aplicaciones de la nueva biotecnología encuadra mejor en las categorías II y IV, los productos transgénicos desarrollados se perciben como productos que ofrecen riesgos en múltiples frentes, la salud, el ambiente, la práctica agrícola y requieren de instituciones más complejas, recursos con un nuevo perfil y organizados de diferente manera, con mucha coordinación horizontal, tanto para su evaluación ex ante, como para su seguimiento. Los sistemas de control para garantizar una adecuada apropiabilidad para quienes invierten en su desarrollo, ha generado una gran reestructuración de la industria semillera y han planteado además la utilización de sistemas de protección tecnológica inaceptables para una serie de prácticas muy arraigadas entre los productos agrícolas (Aguirre, 2004).

De lo anterior es posible observar que el desarrollo de un producto agrobiotecnológico es un proceso de gran complejidad, el desarrollo de una innovación requiere de especialistas y recursos técnicos abundantes, en comparación con los que serían necesarios si se utilizaran enfoques más tradicionales para el mismo propósito. Pero no se trata únicamente de su desarrollo; también su utilización en campo requiere de recursos y organización con mayor grado de complejidad que los que son necesarios por métodos más tradicionales (Bajaj, 1991).

Esta mayor complejidad en los recursos y organización que se requieren para su desarrollo y utilización se incrementa por el hecho de que las innovaciones agrobiotecnológicas pueden ser apropiadas legalmente por diferentes mecanismos de protección a la propiedad intelectual, que son de mayor cobertura y alcance que los que pueden ser aplicados a innovaciones agrícolas más tradicionales (Bajaj, 1991).

Por otro lado, la percepción de los posibles riesgos que extrañan las innovaciones agrobiotecnológicas para la salud, la práctica agrícola, el ambiente, la economía y la sociedad, han dado lugar a una gran movilización de diferentes actores en torno al establecimiento y operación de marcos regulatorios en materia de bioseguridad han contribuido también a incrementar la complejidad del proceso de desarrollo y uso de la agrobiotecnología.

México es el centro de origen y diversidad del maíz y, además, por la existencia de multitud de nichos ecológicos, de sistemas de producción, de gustos culinarios y de criterios de selección, su variabilidad es sumamente amplia y ésta es la fuente más valiosa de genes para el mejoramiento genotécnico. El objetivo del presente estudio fue contribuir a la caracterización agronómica de la variabilidad genética de maíz presente en la Meseta Purepecha, Michoacán, México. Se colectaron 60 maíces criollos y se sometieron a una evaluación agronómica en 3 sitios representativos del área de exploración (Patamban, Cheran y Charapan). Los resultados expresan la gama de variabilidad en las características morfológicas evaluadas, como son alturas de planta y de mazorca, porcentaje de formación de grano y del rendimiento mismo. Se corroboró la existencia de una gran riqueza de combinaciones genéticas, la mayoría de ellas aún desconocidas, no aprovechadas en fitomejoramiento y, además, en riesgo de desaparición por la degradación ambiental imperante en la región, o bien, por la compleja dinámica con la cual los productores mantienen, cambian o modifican sus maíces criollos (Louette, 1999).

Cuanto mayor sea el conocimiento de las características fisiológicas, bioquímicas, anatómicas, morfológicas, etc. de la biodiversidad presente en México y, en particular, de las principales especies alimenticias, como es el caso del maíz, más segura y eficiente será su elección para incorporarlas en los programas genotécnicos y así solucionar limitantes de la producción agrícola o del procesamiento postcosecha, mejorar la composición nutricional, etc.

La utilización en México de variedades transgénicas de maíz, desarrolladas ex profeso para la resolución de problemas específicos de este país, resulta socialmente conveniente; no obstante, se carece aun de los estudios de impacto ambiental para saber fehacientemente si se altera la estructura genética de los maíces criollos o de los parientes silvestres de esta especie fundamental para nuestra cultura (Marielle, 2005).

V.3 Impacto en la Biodiversidad de México

Un nuevo problema que surge cuando se utilizan cultivos transgénicos es la pérdida de la diversidad. Aunque en un principio la Biotecnología puede crear una mayor diversidad de plantas, incrementando así la biodiversidad, no es esto lo que realmente ocurre. Las compañías de Biotecnología siempre trabajan sobre un número limitado de cultivos para los cuales hay mercados grandes y seguros; por lo tanto la tendencia es hacia la uniformización. Según la FAO el 75 % de la diversidad agraria se ha perdido en los últimos cien años. Esta pérdida de diversidad está relacionada con la política utilizada por parte de las multinacionales que tienden a crear mercados internacionales uniformes de semillas favoreciendo la aparición de monocultivos, por lo que cada vez son menos las especies y variedades que se cultivan. Por otro lado, hay que tener en cuenta que conforme la nueva semilla creada por manipulación génica sustituya a las variedades tradicionales y a sus parientes silvestres, se producirá mayor erosión genética, lo cual conducirá no sólo a la destrucción de la diversidad si no a una mayor vulnerabilidad de los sistemas agrícolas tradicionales (Rodríguez, 2000).

A todo esto hay que añadir que los cultivos transgénicos son plantas patentadas. ¿Qué significa esto? Que existe un sistema de patentes que prohíbe legalmente a los agricultores reproducir, intercambiar o almacenar las semillas que producen en sus propias cosechas. Por tanto esto afectará a las posibilidades de la conservación *in situ* y al mejoramiento génico a nivel local (Martínez-Soriano, 2002).

En términos ecológicos, los riesgos hasta ahora más discutidos de la liberación de transgénicos en el ambiente son los que se derivan del movimiento no intencional de los transgenes a poblaciones, de variedades tanto cultivadas como silvestres, para las cuales dichas transformaciones génicas no fueron diseñadas. En el caso del maíz en México, los datos se resumen en dos aspectos fundamentales: 1) la posibilidad de introgresión (que los transgenes entren y persistan) de las variedades transgénicas hacia las razas de maíces locales o criollos y hacia los parientes silvestres del maíz que se encuentran en México, y 2) las consecuencias biológicas de esta introgresión.

El flujo génico de maíz a teozintle ocurre a tasas bajas en cada generación, pero cuando las plantas crecen en proximidad, los alelos de los cultivos introgresan a las poblaciones de los parientes silvestres después de varias generaciones. También se ha documentado introgresión de caracteres genéticos de variedades mejoradas a nativas cuando ambas crecen incluso a distancias mayores de varios cientos de kilómetros. Por lo tanto, el flujo génico y la introgresión a variedades locales cultivadas

y silvestres será difícil de evitar una vez que crezcan plantas transgénicas en los campos mexicanos. Además, los individuos de teozintle y maíz portadores de los transgenes pueden constituirse en puentes para la introgresión de los transgenes a nuevas variedades. Finalmente, el intercambio de semillas entre agricultores puede también hacer que las áreas en las cuáles ocurra la introgresión sean mayores a las que se esperan por el flujo génico vía polen (Sánchez, 1996).

Una vez que ocurre el flujo génico, la permanencia de los transgenes dependerá de los efectos que tengan éstos en la adecuación de los individuos como consecuencia de la expresión de los transgenes. Si estos efectos son neutrales, el transgén permanecerá en la población con una frecuencia que dependerá de la frecuencia del flujo génico. Si el transgén aumenta hasta fijarse, bajará en frecuencia hasta desaparecer y se resumen los efectos esperados de la introgresión a variedades silvestres y nativas de maíz en México de los transgenes objeto de los desarrollos biotecnológicos desregulados hasta ahora en USA.

Para el caso del maíz, la introducción de resistencia a herbicidas y plagas podría ser problemática en sitios en donde el teozintle se considera maleza y se controla con el herbicida en cuestión o, de manera natural, por las plagas afectadas por la expresión del transgén. En ambos casos se espera la aparición de teozintles-malezas difíciles de controlar y en ninguno se espera la evolución de malezas a partir de variedades de maíz (Wilkes, 1996).

No se espera ni permanencia ni consecuencias negativas producto de genes cuya expresión confiere esterilidad masculina al maíz.

En especies de polinización abierta, como el maíz, la recombinación aseguraría que los efectos detrimentales sobre la variabilidad génica producto de la introgresión de transgenes se restrinja a porciones del genoma sumamente pequeñas.

Resulta claro que si ocurre el flujo no intencional de los transgenes que expresan la toxina Bt, que confiere resistencia a plagas de lepidópteros a poblaciones no sujetas a regulación, se pueden originar plagas de insectos que serán difíciles de controlar.

Se podrían presentar efectos no esperados tanto por la posibilidad de impactar especies que no son el blanco del desarrollo biotecnológico como por efectos pleiotrópicos. Para el primer caso se ha explorado el posible impacto de la toxina Bt en las larvas de mariposa monarca en México. Los resultados más recientes sugieren que

el impacto será menor dados los niveles de exposición esperados. En el segundo caso se han registrado efectos pleiotrópicos de la expresión de la toxina en condiciones experimentales. En cualquier caso es recomendable monitorear los efectos de los transgénicos a largo plazo bajo las condiciones ambientales en las cuales se liberan. Es importante resolver el debate en torno al número y las relaciones genealógicas de las razas de maíz para que el resultado sea referencia de cualquier análisis sobre el impacto de los transgénicos (Sears y Shelton, 2001).

Se ha enfatizado el flujo de las variedades transgénicas a las silvestres, pero el flujo de cultivar transgénico a no transgénico es igualmente importante. A partir del artículo de Quist y Chapela (2001) publicado en *Nature*, se ha debatido la posibilidad de que hubiera ya introgresión a maíces criollos de Oaxaca. Datos recientes recabados por dos laboratorios mexicanos bajo encargo del INE y la CONABIO sugieren la presencia de transgénicos en los genomas de razas locales colectadas de Oaxaca y Puebla. Pero son necesarios más experimentos para corroborar lo anterior.

Se debate ya la importancia de este tipo de efectos, pero es necesario recabar más información y desarrollar modelos para analizar los posibles impactos a largo plazo.

Resulta de altísima prioridad saber a ciencia cierta si ha ocurrido ya flujo génico e introgresión de transgénicos a variedades locales. Dado que el flujo génico y la introgresión de variedades transgénicas a variedades locales de maíz que se usan para alimento humano o animal son claramente posibles, si no ya un hecho, es particularmente preocupante que pueda haber introgresión en variedades utilizadas para el consumo animal o humano por variedades creadas para producir sustancias industriales o fármacos. Estos desarrollos podrían afectar la seguridad alimentaria, de ahí que resulte prioritario evaluarlos y en su caso tomar medidas de contención o freno. Otros aspectos en los que resulta importante hacer más investigación por su posible impacto son: transferencia horizontal incluyendo la transferencia de la resistencia a antibióticos; acumulación en el ambiente de DNA desnudo, como posible desecho biotóxico y posible inestabilidad genómica de los transgenes.

Toda evidencia arqueológica y biológica señala que el maíz se originó en México, quizás en el occidente del país (Benz, 1986) o en la cuenca del Balsas (Iltis, 1987; Doebley, 1990) hace entre 7,500 y 10,000 años (Wang, 1999; Tenaillon, 2001). México ha reportado al menos 50 razas de maíz adaptadas a diferentes condiciones climáticas y altitudes que van desde 0 hasta 2,700 msnm (Hernández, 1985; Sánchez, 1993; Iltis y Doebley, 1980). Sin embargo, se considera que en México debe haber 60 o más

razas de maíz nativas. Además de que a las razas principales se suma una gran cantidad de subrazas y variedades locales aún no bien caracterizadas.

Los teozintles o maíces silvestres tuvieron y tiene una función importante en la generación de esta variedad de razas de maíz en México (Welhausen, 1952; Wilkes, 1972 y 1977; Hancock, 1992). En su mayor parte, los teozintles obedecen a las prácticas agrícolas tradicionales (Sánchez y Ordaz, 1987) y son reconocidos como los parientes silvestres más cercanos del maíz (Doebley e Iltis, 1980). De hecho, a uno de los teozintles se le considera el ancestro del maíz: *Zea mays* subesp. *Parviglumis* (Doebley, 1990; Iltis, 2000). Otro de los teozintles goza de particular importancia porque es perenne y puede ser la base para el mejoramiento de razas cultivadas que puedan permanecer y no tener que cultivarse cada año. Además de su importancia como ancestro del maíz o fuente de variabilidad genética para mejoramiento, el teozintle (Iltis 1987 y Doebley, 1980) tiene un alto potencial como planta forrajera, en particular para la engorda de ganado vacuno y equino (Miranda, 2001), aunque en la mayoría de los casos es una maleza. Representa un recurso estratégico sobre todo para la agricultura de subsistencia, que normalmente se lleva a cabo en suelos de mala calidad agrícola, propicios para el crecimiento de los teozintles.

Muchas de las razas de maíz y la mayoría de las subespecies de teozintle se empiezan a considerar en peligro de extinción (Blancas, 2001). El tamaño y la distribución de sus poblaciones se han visto afectadas por el cambio de uso del suelo, la agricultura intensiva y la urbanización (Wilkes, 1996; Sánchez y Ruiz, 1996). Por lo tanto, independientemente del posible impacto de la introducción de variedades transgénicas de maíz, la conservación de las razas mexicanas y de las especies de sus parientes silvestres es prioritaria, asunto de seguridad alimentaria para México y el resto del mundo, y depende de esfuerzos *in situ* y *ex situ*. A pesar de que se dispone de recolecciones considerables de las variedades de maíz en México, sabemos que hay razas no registradas. Por ejemplo, el CIMMYT cuenta con 8,264 colecciones de maíz, pero faltan al menos 2 mil para alcanzar la colección completa de las razas de maíz mexicano. De teozintles hacen falta muchas más colecciones. Una buena fuente de información sobre el estado actual de la distribución, conservación en bancos de germoplasma y caracterización de la diversidad regional de teozintles de México se puede encontrar en Sánchez (1998). Las variedades mejoradas representan casi 24 % de la diversidad genética de las razas locales de maíz en México (Tenaillon, 2001 y 2002). Los patrones de diversidad genética poblacional para las razas de maíz y las poblaciones de teozintle asociado con estas razas se han estudiado muy poco (Blancas, 2001).

La biodiversidad de maíces cultivados y silvestres se relaciona con una diversidad de sistemas productivos que forman mosaicos, porciones de áreas naturales diversas que van desde bosques de coníferas en las zonas templadas hasta selvas altas perennifolias en las zonas cálido-húmedas. El grado de conservación de estos ecosistemas agrícolas y naturales es variable a lo largo del país y constituye el contexto ecológico en el que se habrán de evaluar los posibles impactos de la introducción de variedades transgénicas.

La mayor parte de las discusiones sobre los efectos ecológicos de los transgénicos se centra en las características o atributos que se expresan en las plantas como resultado de la introducción de genes particulares por medio de la tecnología del DNA recombinante. Sobre todo se ha discutido la posibilidad de que los transgenes no se puedan contener en las áreas aprobadas para su cultivo, el impacto ecológico de estos posibles escapes a zonas no planeadas y la introgresión o permanencia de los transgenes escapados en poblaciones de especies (silvestres o cultivadas) para las cuales no se desarrollaron originalmente.

En contraste, los riesgos ecológicos derivados del proceso de modificación genética por medio de técnicas de DNA recombinante se han discutido mucho menos. Estos riesgos se derivan de: a) las incógnitas actuales sobre el proceso de transformación genética de plantas y animales, y b) los efectos difíciles de predecir o inesperados de la liberación ambiental de animales o plantas transgénicas. Estos últimos efectos dependen de la complejidad espacio-temporal de los sistemas ecológicos. Son muchas las lagunas de conocimiento y muchos los puntos de debate en relación con estos dos aspectos (Álvarez-Buylla, 2004).

V.4. Programas de investigación

Los productos de la biotecnología agrícola fueron originalmente llamados genéticamente diseñados o dirigidos o transgénicos, luego fueron llamados modificados y ahora algunas veces cultivos mejorados. En general, en estos productos se cambia un carácter controlado por un solo gen, por ejemplo resistencia a herbicidas o resistencia a plagas. ¿Cuál es el problema para cuya solución están diseñados? (Heineke, 2002).

Durante al menos un par de decenios ha habido un amplio debate acerca del daño ambiental y los problemas sistémicos del monocultivo intensivo, el cual recrea las condiciones para las epidemias de plagas y la dependencia en una rueda sin fin de pesticidas. Sin embargo, por medio de la biotecnología, esos problemas inherentes son fetichizados como deficiencias genéticas. Para corregir estas deficiencias, la investigación biotecnológica intenta descubrir defensas en el nivel molecular (buena naturaleza) contra amenazas externas (mala naturaleza). La dependencia socioeconómica de los agricultores hacia insumos comprados es rectificada como una relación entre cosas como lo es, por ejemplo, una relación entre los cultivos y las amenazas externas. Irónicamente, esa dependencia es mostrada como la liberación de los cultivos de las amenazas naturales (Bolívar, 2001).

Así, un compromiso institucional con el monocultivo intensivo es rectificado como una relación entre cosas. Mientras la biotecnología agrícola forma parte de una estrategia político-agronómica, tal opción es mostrada como un descubrimiento de relaciones naturales entre genes. Cualquier límite o falla debe ser remediado mediante más de las mismas soluciones, por ejemplo, mediante una rueda sin fin genética-pesticida (Bolívar, 2001).

La estrategia de control biotecnológico es frecuentemente expresada por medio de metáforas sociales por ejemplo, códigos, combate y mercancías. Mediante una metáfora computacional, los genes se convierten en la información codificada en un lenguaje molecular universal, por ser leído, intercambiado, editado, etc., mediante una limpia precisión quirúrgica, se rediseña la naturaleza para el combate militar por ejemplo, para atacar pestes o para proteger cultivos de aerosoles herbicidas (British Medical Association, 1999).

El proyecto biotecnológico de mercantilización ha sido expresado como genética de valor agregado, es decir, una búsqueda de cambios genéticos que mejoran el valor de

mercado de insumos o productos agrícolas. Esta búsqueda está ilustrada por una caricatura donde la famosa doble hélice se convierte en un árbol de dinero retoñando billetes y siendo cultivada por un técnico de laboratorio. En esa vena, los cultivos son reconceptualizados como materias primas intercambiables, abastecidas flexiblemente. Mediante estas metáforas, la naturaleza es modificada a la imagen de la biotecnología; las elecciones de diseño toman la forma rectificadas de propiedades naturales por ser descubiertas y mejoradas.

Cancelar o incluso limitar el uso y el desarrollo de las técnicas de la biotecnología moderna y, en particular, las que permiten la construcción de organismos modificados genéticamente (OMG), significa cancelar nuestra capacidad para contender con muchos problemas y por ello arriesgar la soberanía de la nación (Levidow, 2004).

Es posible pensar en la aparición de nuevas y poderosas enfermedades, contra las cuales, las técnicas más tradicionales tengan muy baja oportunidad de éxito. Por ejemplo, nuevas plagas que pueden atentar contra la destrucción de cultivares autóctonos. Renunciar al uso de técnicas de la Ingeniería genética para su solución podría implicar, incluso, perder estas especies (Levidow, 2004).

El uso de las vacunas para inmunizarnos contra enfermedades implica riesgos. Sin embargo, el no utilizarlas implica escenarios de destrucción de muchísimos seres humanos. Por ello se usan aun cuando hay riesgos. Vacunas modernas, como por ejemplo la que protege contra la hepatitis, se ha podido desarrollar usando las técnicas de la biotecnología moderna; antes no había vacuna contra hepatitis y si se hubiera prohibido usar la Ingeniería genética, no habría esta y otras nuevas vacunas recombinantes. Si alguna vez existe vacuna contra el sida, es seguro que sea producto de las técnicas modernas de la biotecnología.

México enfrenta grandes retos para proporcionar una vida digna a sus habitantes. Tenemos problemas (enfermedades) y demandas de la sociedad (grandes volúmenes de alimentos sanos, nutritivos, un medio ambiente no contaminado), que han implicado y seguirán implicando el uso de tecnología y, ciertamente, la biotecnología moderna es herramienta poderosa para contender con estos retos. Lo importante entonces, es que se analice caso por caso las alternativas tecnológicas con las que se cuenta para resolver los problemas, incluyendo el análisis comparativo de sus posibles riesgos, y no cancelar *a priori* el uso de los OMG, en particular los transgénicos, para la solución de problemas relevantes solamente por el hecho aislado, descontextualizado, de los posibles riesgos que implica su uso, ya que al no utilizarlos, en ciertos escenarios

puede implicar riesgos más altos; éste es el caso de seguir utilizando pesticidas químicos para contener con las plagas de los cultivos que destruyen la biodiversidad de manera inespecífica, que contaminan el medio ambiente de manera permanente porque no son biodegradables y que generan problemas de salud.

México es un país biológicamente muy diverso con la responsabilidad de desarrollar una visión diferente, propia y especializada de la biotecnología. La biotecnología moderna debe servir para el manejo y preservación de estos recursos, indispensables para el mantenimiento sustentable de los ecosistemas nacionales y globales. Por otro lado, el potencial de la biotecnología en un país tan diverso como México es muy vasto. La biodiversidad es riqueza renovable, patrimonio nacional, que de ser utilizada de manera inteligente y sustentable, con el concurso de la biotecnología, puede potenciarse enormemente y constituirse en un soporte constante, no sólo para resolver problemas importantes y demandas actuales de la nación, si no también para convertir a nuestro país en líder mundial por su capacidad de generar y exportar tecnología biológica y productos terminados de alto valor agregado, de origen biológico (Delgado, 2000).

Sin embargo, es importante reconocer también que nuestra enorme diversidad nos expone a riesgos que no enfrentan otras regiones de menor diversidad biológica. Con base en lo anterior, es prioritario apoyar decididamente la investigación de la biodiversidad básica y aplicada en las instituciones públicas, y generar también la capacidad para analizar y evaluar las múltiples implicaciones del uso de la biotecnología en lo ecológico, respecto a la salud humana, en los sectores de la producción y en lo social (Delgado, 2000).

Por todo lo anterior, resulta indispensable desarrollar en México una cultura amplia de bioseguridad, para dar cabida al establecimiento de medidas y acciones de evaluación de riesgos y monitoreo de los impactos de productos químico-biológicos en todos los sectores de actividad y en particular el del medio ambiente. Dentro de esta perspectiva general, un paso importante en esa dirección sería el establecimiento, como lo ha señalado el doctor José Antonio de la Peña, presidente de la Academia Mexicana de Ciencias, de una ley de bioseguridad para el manejo de organismos genéticamente modificados que establezca las bases que garanticen la protección del medio ambiente, la bioseguridad, la salud humana y la sanidad vegetal y animal, en particular en un país tan diverso y centro de origen como México, mediante la regulación de aspectos concretos de evaluación y monitoreo de posibles riesgos en el manejo de

estos OMG resultantes de las técnicas de la biotecnología moderna, pero que al mismo tiempo no obstaculice el desarrollo cinético y tecnológico del país.

La investigación y el desarrollo de nuevas variedades mejoradas por estas técnicas no se harían en México. Eventualmente, habría variedades transgénicas de plantas como la papaya, el agave, el aguacate, con propiedades mejoradas, que indudablemente se empezarán a cultivar en otros países y ocasionalmente, aparecerán en el territorio nacional pues incorporarían características superiores en muchos aspectos (nutricionales, económicas), a las originales autóctonas. En un escenario a largo plazo, esta situación va a ocurrir en muchos casos, porque no se puede detener, por mandato judicial, la entrada de estos nuevos organismos vivos, como no se ha detenido la entrada del cólera o de la gripe o de las abejas africanas y de otras plagas. Además, debemos estar también preparados para contener con la aparición de nuevas plagas y para desarrollar nuevas variedades de cultivos y plantas mexicanas capaces de colonizar y crecer en nuevos nichos ecológicos (terrenos con alta salinidad o baja humedad), y ampliando los terrenos cultivables (como ha ocurrido en Israel), así como contener con el peligro del bioterrorismo. Por ello, resulta vital desarrollar nuestra propia estrategia y capacidad en el área de la biotecnología moderna, para enfrentar y conducir los cambios de manera orientada y con los menores efectos negativos posibles. Así, por ser indispensables en la defensa y el fortalecimiento de la biodiversidad mexicana no es posible renunciar al uso de las técnicas de la biotecnología moderna (Bolívar, 2004).

Sin estar autorizadas siquiera las siembras de maíz transgénico en México, ya se tiene precedentes de contaminación. Estos casos de contaminación son el resultado de corporaciones como Monsanto, Syngenta y Pioneer; de la inclusión de México en el TLCAN y de la poca voluntad política del gobierno mexicano para salvaguardar la riqueza genética de nuestras semillas y la seguridad de los campesinos y consumidores (De Ita, 2004).

La tardía y equivocada reacción de las autoridades en estos graves casos de contaminación ejemplifica lo que sucederá con la eliminación de aranceles a granos básicos como el maíz proveniente de USA, a nuestro territorio entrará maíz transgénico a mansalva, y ello sentará un duro golpe para el campo mexicano y su biodiversidad. En Agosto de 2006, Roberto Duarte, de la Sociedad Productora Rural del Lerma, anunció haber hallado en 60 hectáreas presencia de maíz transgénico disperso en los municipios La Piedad, Zináparo, Penjamillo y Numanán del Estado de Michoacán. Se presume que dicha siembra de maíz transgénico se realizó por

desconocimiento, debido a que muchos productores tienen hijos en Estados Unidos, quienes deben haberles enviado semilla de maíz elaborada y comercializada en dicho país.

La contaminación en este estado es grave dado que Michoacán se ha convertido en el corazón agrícola del centro del país, gracias a la pureza de las especies de granos básicos que cultiva. Agricultores michoacanos han solicitado a SAGARPA realizar un monitoreo a fondo para determinar la extensión de la contaminación, sin recibir respuesta alguna (www.cibiogem.gob.mx).

El INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) ha documentado una gran diversidad de maíz criollo. El 30 de Noviembre de 2006 se dio a conocer un estudio realizado en 157 poblaciones del estado de Sinaloa, analizando una de cada 10 plantas a través de las técnicas ELISA y PCR. De ellas, 5 resultaron positivas para los transgenes *nptII* y *Cry1Ab*, lo cual demostró la gran necesidad de realizar un mayor muestreo en la zona de temporal de Sinaloa, muestreo que a la fecha no se ha realizado.

Recientemente, la delegación de la SAGARPA emprendió un proceso administrativo en contra del Agricultor Amado Trevizo, habitante del ejido Benito Juárez del Municipio Namiquipa del Estado de Chihuahua, por sembrar ilegalmente Maíz Transgénico. Esta acción se llevó a cabo tardíamente, dado que Armando Villareal, de la organización Agrodinámica Nacional, había denunciado la existencia de estas siembras tres meses atrás.

Greenpeace ha exigido el monitoreo del estado para que se informe acerca de posible contaminación, las cantidades estimadas de ésta y las características y rasgos importantes del Organismo Genéticamente Modificado (OGM); además de haber emprendido una demanda penal para que se de seguimiento a diversos actos ilegales en materia de OGMs. El 28 de diciembre, Carlos Aguilar Camargo, delegado de la SAGARPA en dicho Estado, anunció que el caso se ha turnado a la Procuraduría General de la República (PGR), por lo que aún no se ha hecho pública la información al respecto.

El 24 de julio de 2007, el coordinador del Programa de Investigación de la Facultad de Medicina y Veterinaria de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), Arturo Duarte, publicó que de las 180 mil hectáreas de cultivo de maíz del estado, al menos 70 % emplean semillas transgénicas.

Por su parte, Alejandro Espinosa, representante de Investigadores ante la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), ha afirmado que el gobierno tamaulipeco pidió a la dependencia llevar a cabo una investigación en campos de cultivo del estado para determinar la magnitud del problema, y denunció que las autoridades federales no quieren reconocer el impacto real del problema, pues no tienen la capacidad para implementar un programa de monitoreo en los cultivos (www.cibiogem.gob.mx).

En junio de 2007 se publicó un estudio realizado por el Dr. Antonio Serratos acerca de la presencia del maíz transgénico (*EPSPS*, *Cry1Ab* y *Cry9C*) en suelo de conservación del Distrito Federal, ubicado en las delegaciones Magdalena Contreras y Milpa Alta. El jefe de Gobierno local declaró que no se permitirán dichos cultivos, sin embargo no se ha instaurado un mecanismo de biomonitoreo en la zona (Rius, 2008).

Las comunidades oaxaqueñas afectadas por la contaminación transgénica de sus variedades nativas de maíz, solicitaron a la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) realizar una investigación sobre la contaminación transgénica en la región, misma que era negada por el gobierno mexicano. Dicho organismo realizó, con la participación de eminentes investigadores de México, USA y Canadá, el estudio de Maíz y biodiversidad, *The Effects of Transgenic Maize in Mexico*, que reconoce la presencia de transgenes en variedades mexicanas de maíz, y establece que la probable fuente principal de esta presencia, es el grano transgénico producido en USA e importado a México. Entre las recomendaciones que hace este estudio a los gobiernos de los tres países destaca: mantener y fortalecer la actual moratoria a la siembra comercial de maíz transgénico en nuestro país, así como reducir y monitorear las importaciones de dicho grano (Covantes, 2007).

V.5 Beneficios y consecuencias en la economía de México

Las empresas productoras de semillas transgénicas afirman que los cultivos genéticamente modificados representan significativos beneficios ambientales y económicos: aumento de productividad, reducción de costos, menores aplicaciones de insecticidas convencionales, sin impactos negativos sobre los ecosistemas.

Los impulsores de la liberación de la siembra de maíz transgénico en México declaran que estos beneficios deben llegar a los millones de campesinos que cultivan el maíz.

Sin embargo, para el caso de México los tres tipos de maíz transgénico que existen en el mercado no provocarán ningún beneficio y sí muy altos riesgos.

La siembra de maíz transgénico en México no resuelve los principales problemas que enfrentan los productores, la falta de rentabilidad, la competencia con las importaciones, los bajos precios internos e internacionales, los altos subsidios a los productores de USA, el control monosónico de los mercados, además aumenta su dependencia de las empresas transnacionales.

Impactos

- El incremento del drenaje de los recursos genéticos del Sur al Norte
- Una creciente marginación de los pequeños agricultores debido a los derechos de propiedad intelectual y otras prácticas restrictivas asociadas con la certificación de semillas, y aun mayor control corporativo de la producción y distribución de alimentos
- Sustitución de tecnologías y productos tradicionales
- Inestabilidad genética inherente de las líneas transgénicas que resultan en cultivos fallidos
- Distracción de recursos y esfuerzos de la agricultura orgánica sustentable, la que podría mejorar los rendimientos y regenerar el suelo degradado

En marzo del 2005 el presidente Vicente Fox publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, también llamada por los opositores a esta Ley como la Ley Monsanto, ya que esta transnacional es la principal beneficiada en la exportación de maíz a México. Incluso, muy conocidas son las denuncias de Greenpeace sobre la importación ilegal de mayores cuotas de maíz y además revuelto con maíz transgénico que se hacen desde USA a México desde hace años violando los términos del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN).

Aunque en el marco del TLCAN supuestamente se liberarían en el 2008 la cuota de importación y el pago de aranceles del maíz y frijol provenientes de USA, a la fecha dicha importación de maíz creció 15 veces, de 0.5 millones en 1993 a 7.5 millones de toneladas en el 2004, lo que representa un crecimiento de 1,400 %. Si a ello le sumamos que el sector agrícola de USA recibe 10 mil 100 millones de dólares al año en subsidios, según ha denunciado ya en sus informes Oxfam Internacional, no hay

indígena ni campesino que pueda competir con un país y sus trasnacionales que bloquean el desarrollo. Para colmo, USA pretende militarizar toda la frontera para detener la migración y el flujo de la pobreza que ellos mismos generan. Con esto nos podemos dar cuenta que los países menos globalizados a la economía neoliberal que tanto pregonan son precisamente los países que han vendido el modelo como la panacea para mejorar las condiciones del mundo. Los países desarrollados son los menos neoliberales ya que son los que más bloquean sus economías, que más subsidian, donde más fortalecido están los gobiernos y sus servicios públicos y sociales (www.isaaa.org).

Un análisis del contexto bajo el cual ocurre la modificación del sistema de derechos de propiedad intelectual (DPI), empleando como caso particular la agrobiotecnología, tiene su importancia en la económica ya que en últimas fechas ha sido un tema de gran debate en los foros internacionales.

En los últimos 20 años el sistema de DPI, en nuestro país, se ha modificado en respuesta a las transformaciones realizadas al sistema internacional de derechos de propiedad, los compromisos comerciales y a los tratados internacionales firmados. Este cambio, que sigue la dirección marcada por los países desarrollados y los organismos internacionales en esta materia, origina dos procesos negativos para nuestro país, por un lado, sectores nacionales de investigación, tanto del sector público como del privado, quedaron en desventaja dentro del proceso de generación de nuevas tecnologías, y por el otro, se estimulan los factores o variables que refuerzan una mayor dependencia de las actividades de innovación realizadas por extranjeros en México.

Un aspecto importante es el referido a la eliminación de las restricciones para patentar procesos biotecnológicos. Actualmente en México existe la posibilidad de patentar organismos vivos, en tanto cumplan con las características exigidas por la ley en materia de propiedad intelectual; esto es, que las características genéticas del organismo a patentar no se encuentren de manera natural, ni provengan de un proceso que la misma naturaleza pueda desarrollar. En el caso de la biotecnología aplicada a la producción de semillas y plantas, esta liberalización significa que es posible patentar los procesos para la modificación de características genéticas de semillas y consecuentemente su producto resultante, un organismo con características particulares distintas del original (que se encuentra en la naturaleza), comúnmente conocido como transgénico (Hirst, 1992).

La economía de los DPI ha intercedido, en las últimas décadas, por una asignación eficiente de derechos; instrumento para la reasignación de valor dentro de una industria. Con el concepto del mejor inversor los sistemas de DPI justifican la existencia de derechos en niveles particulares de la industria, para que los recursos sean aprovechados de la mejor manera.

Los DPI en general (y en particular los sistemas de patentes) tienen como objetivo alentar las actividades de investigación y promover las innovaciones, así como su desarrollo para consolidarlas como impulsoras del crecimiento. En la industria de la biotecnología los procesos de Investigación y Desarrollo (I&D) son fundamentales. La necesidad de generar nuevos conocimientos hace de este sector uno de los de mayor dinamismo, por lo que es primordial establecer un marco normativo que permita proteger las innovaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías.

La importancia que cobra en el ámbito mundial la industria agrícola se amplía cada vez más debido a la demanda alimenticia. La biotecnología, y en particular la agrobiotecnología, buscan generar nuevas tecnologías que permitan desarrollar bajo las condiciones actuales, procesos productivos más eficientes, como son la cantidad y calidad de tierra utilizada para el cultivo.

Sin embargo, al analizar el campo de la biotecnología en plantas, se observa el establecimiento, entre las nuevas empresas líderes del mercado, de ciertos patrones de comportamiento evidenciando la inexistencia de una vinculación clara entre un amplio sistema de patentes y un proceso de difusión de tecnología. El mismo patrón de competencia pareciera ir en sentido contrario, alentando una concentración de la tecnología relevante, a largo plazo en un costo para los países desarrollados, es el caso de nuestro país.

Una combinación de rápidos avances en la ciencia y el número de aplicaciones de los DPI han conducido a un crecimiento sin precedente de la inversión privada en la tecnología agrícola. Para 1997 la inversión privada mundial alcanzó la cifra de 10 mil millones de dólares en I&D, en 1998 los 40 mil millones y para 1999 se proyectó un gasto de 48 mil millones de dólares.

En sólo algunos años, en los países desarrollados principalmente, se ha presentado un incremento en la superficie cultivada con transgénicos resistentes a enfermedades y plagas. En 1996 se cultivaron en el ámbito mundial 4.54 millones de hectáreas, para 1997, 31.5 millones de hectáreas y en 1998 aproximadamente 36.5.

Los derechos de propiedad intelectual relevantes para la agricultura son:

A) Las patentes: probablemente en los derechos más importantes, ya que proveen sin importar el lugar en el que estén disponibles, la protección más fuerte para las plantas y animales patentables y los procesos biotecnológicos para su producción. Las patentes le dan al propietario el derecho de prevenir a terceros de hacer, usar, o vender el producto o el proceso patentado. Sin embargo, el invento patentado debe ser públicamente revelado en los documentos de la patente.

B) Derechos de reproductores de plantas: muchos países han desarrollado los Derechos de Reproducir Plantas (DRP) para recompensar los esfuerzos en la reproducción de plantas convencionales. El alcance de éste derecho es más débil que la protección de patentes, porque no incluye el derecho a excluir a terceros de hacer o usar el material protegido. Los poseedores del derecho pueden solamente prevenir a terceros de vender o comercializar la explotación del material protegido

La existencia de los DRP es reciente y fueron creados para proteger la investigación en reproducción realizada en el sector privado.

C) Marcas de comercialización: las marcas comúnmente usadas en el comercio y la industria son usadas para comercializar semillas o servicios (fumigación), y su función central es distinguir los bienes de una empresa y de otra, previniendo la decepción de los consumidores. Prácticamente todos los países protegen las marcas.

D) Denominaciones geográficas: se refieren a las anotaciones de origen, son marcas asociadas con los productos originarios de un país, región o localidad, donde la calidad, reputación u otra característica del producto son atribuibles a su origen geográfico. Muchos productos agrícolas son etiquetados con este tipo de información (De Ita, 2004).

V.6 ¿Qué papel juega el Gobierno mexicano?

El amplio espectro de tendencias políticas y sociales revela la importancia social, política y económica contenida en la problemática de la biotecnología moderna, asunto cada vez más debatido y discutido en México.

Una iniciativa de ley que es de orden público y de interés social tal como lo establece el artículo 1. Por estas razones tiene relevancia examinar un aspecto que aparece reiteradamente, la preocupación por prevenir riesgos. Ésta tiene relevancia, tanto por la manera como repite este asunto como por los bienes tan significativos que pretende tutelar, la salud humana, el medio ambiente, la diversidad biológica, la salinidad animal, vegetal y agrícola.

Por lo anterior, se preocupa por el establecimiento de procedimientos administrativos para la evaluación de los riesgos. Define la bioseguridad como el conjunto de acciones y medidas destinadas al control de los riesgos que implican las actividades concurrentes para el desarrollo de la biotecnología moderna. Reconoce el enfoque metodológico paso a paso:

Conforme al cual todo OMG que esté destinado a ser liberado comercialmente debe ser previamente sometido a pruebas satisfactorias conforme a los estudios de riesgo, la evaluación de riesgos y los reportes de resultados aplicables en la realización de actividades de liberación experimental y de liberación en programa piloto de dichos organismos, en los términos de esta ley.

La liberación de OMG exige estudios de riesgos y evaluaciones de riesgo de acuerdo con la mejor técnica disponible. También para el análisis de soluciones a los problemas derivados del uso de los OMG será necesario tener presente los posibles riesgos que esto implique.

En relación con la distribución de facultades corresponde a la Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación:

Analizar y evaluar caso por caso los posibles riesgos que las actividades con OMG pudieran ocasionar, así como al medio ambiente y a la diversidad biológica, con base en los estudios de riesgo y los reportes de resultados que elaboren y presenten los interesados, en los términos de esta ley. Suspender los efectos de los permisos, cuando disponga la información científica y técnica superviviente de la que se deduzca que la actividad permitida supone riesgos superiores a los previstos.

Le corresponde a la Secretaría de Salubridad y Asistencia: Evaluar caso por caso los estudios que elaboren y presenten los interesados sobre la inocuidad y los posibles riesgos de los OMG sujetos a autorización en los términos del título quinto de esta ley. Solicitar a la SEMARNAT o a la SAGARPA, según se trate, apoyos en elementos

técnicos y científicos, la suspensión de los efectos de los permisos de liberación al ambiente de OMG, cuando disponga de información de la que se deduzca que la actividad permitida por esas Secretarías supone riesgos superiores a los previstos que pudieran afectar la salud humana.

Las secretarías correspondientes podrán negar el permiso de liberación de OMG cuando concluyan que los riesgos que pudieran presentar afectarán negativamente la salud humana o la diversidad biológica o la sanidad animal, vegetal o acuícola, pudiéndoles causar daños graves o irreversibles. Por otra parte, el artículo 1 propone medidas de monitoreo, prevención y control de los posibles riesgos; así, la fracción II establece, medidas de seguridad para que el posible riesgo se mantenga dentro de los límites de tolerancia aceptados en la evaluación y monitoreo de la actividad de que se trate, en relación con los posibles riesgos que dicha actividad pudiera generar.

Cabe preguntar, rigurosamente, ¿ventajas o pseudoventajas, para quien? Sin embargo, no hay respuesta, porque de modo ambiguo, la iniciativa de ley abre una posibilidad para atenuar el riesgo, podría ser que el uso de OMG contribuyera a resolver problemas persistentes. Sin embargo, la generalidad propia de la ley, sirve para evadir la definición del sujeto jurídico, por eso no se sabe cómo comprender nociones como sociales o productivas, pues tan social es un grupo de empresarios, como lo son las organizaciones en regiones indígenas, anotando de este modo un ejemplo deliberadamente polarizado, no por este texto sino por la realidad histórica contemporánea, no sólo en México, también en otros lugares del mundo.

La iniciativa de ley recurre a otro concepto, a otro principio característico del derecho ambiental como lo es el de precaución. En consecuencia, la complejidad y los peligros que implican la producción, distribución y consumo de OMG se aprecian por medio de las múltiples referencias al riesgo así como por la invocación del principio precautorio.

Los OMG, independientemente de los muchos juicios que puedan formularse sobre estos nuevos productos e insumos sociales, son resultado de un largo proceso de investigación, pruebas, análisis, etc., es decir, son productos humanos para cuya factura se han requerido voluminosas cantidades de dinero, de modo más específico, de dólares. Estamos entonces ante un hecho fundamental que está efectuando el proceso de producción de nuevas cosas que ha requerido para su manufactura de trabajo social y capital. Los OMG son pues mercancías emanadas de la laboriosidad de un sector específico del trabajo social: los científicos, los técnicos, los ingenieros y también de capital, concentrado en grandes corporaciones que durante decenios se ha

dedicado a la producción de mercancías que una vez producidas exigen circular por el mundo libremente hasta ser consumidas.

Una vez establecido el estatuto social de los OMG, es decir, habiendo reconocido su rostro genuino, que no es otro que el de una mercancía, es factible comprender que todas las preguntas que puedan surgir son vacuas, en tanto no se parta de su naturaleza genuina: es una mercancía que como toda exige un mercado. Una vez colocada en el ámbito mercantil, presenta las mismas exigencias que cualquier otra mercancía, control del mercado, es decir, eliminación de otras mercancías que impidan su flujo omnipotente. La producción de OMG trabaja afanosamente para eliminar biológicamente a otros organismos que no han sido modificados genéticamente, esto se advierte claramente en el caso de la agricultura. Entonces se trata de una forma de control del mercado que no se conforma con la destrucción de las empresas rivales, la lucha por el monopolio o al menos por la estructuración del oligopolio va más allá que la eliminación comercial, se trata de anular físicamente, genéticamente, a las otras mercancías. Para tales propósitos, es indispensable emprender una lucha por abrir el mercado. Los OMG no vagan suspendidos en el espacio social, por el contrario, están fuertemente asiduos a la sólida fortaleza de las corporaciones que le dan sustento (Gálvez, 2004).

La revisión hemerográfica de los últimos cinco años advierte del lento pero constante incremento de noticias y artículos editoriales, analizando, o simplemente describiendo, reuniones o manifestaciones en torno al surgimiento de una nueva y peculiar mercadería, semillas transgénicas. Pero al mismo tiempo que se mencionaba la inmigración a México de este nuevo personaje mercantil, OMG, también aparecería un personaje social inesperado: las organizaciones ecologistas. Para escribirlo de modo directo, también sintético, la nueva problemática se define como la reacción adversa, desde abajo, ante un sutil proceso de introducción de mercancías (OMG) rodeadas por la incertidumbre, cuya carta de presentación consiste en una pregunta: ¿Cuánta seguridad es suficiente seguridad?, ante productos que aún no manifiestan sus estragos. Recurriendo a la analogía histórica, ¿será necesario un Chernobil en materia de OMG para así temerles? Planteada de otro modo la problemática: a pesar de las insistentes proclamas sobre las cualidades y seguridades que ofrecen estos nuevos productos, los OMG son mercancías insuficientemente conocidas en cuanto a sus efectos negativos, tóxicos, para esperar pacientemente a que rompan el cordón sanitario, el cordón precautorio.

Lo cierto es que la introducción en México de los OMG abrió un espacio para el ejercicio de una práctica política distinta, la ecopolítica. De la duda metódica del ambientalismo a la crítica descubrió un horizonte inesperado, una politicidad que trasciende determinaciones clasistas, y pone en la mesa de la discusión el destino de los bienes comunes. La debilitada soberanía nacional ya había sido burlada con la introducción de OMG. Sin embargo, esto descubrió y también propició reconocer que aquí como en otros países se mantenía una firme lucha desigual, en contra de los intereses de los productores de los OMG. En consecuencia, ocurrió una globalización desde abajo, pues pronto el ambientalismo crítico percibió sus iguales en otros lados del mundo. El descubrimiento del valor de la naturaleza generó rápidamente una politicidad extra institucional que, a pesar de ser así, rápidamente inició la construcción de la política del débil, que por eso tenía que construir una crítica ética moral y finalmente política, hasta desembocar en un nuevo proyecto, la democracia ecológica a la cual se oponen las grandes transnacionales de la biotecnología cuyas matrices se encuentran en USA, expandiéndose en aquellos países cuyos gobiernos adoptan políticas crecientemente desnacionalizadoras.

La presión, el activismo, la conformación de una opinión pública, debates y escritos propiciaron crecientemente la denuncia y el desacuerdo ante la ilegal intromisión de los OMG, mercancías, cuyos efectos tóxicos se debaten hasta la fecha. Estas circunstancias, obligan a la política institucional a impulsar la legalización de los intercambios, de la circulación de los OMG. Las mercancías no ocurren por sí solas al mercado, ni se cambian por sí mismas, deben recurrir a la fuerza o al derecho, para imponer su férula en el mercado. Los mecanismos de fuerza, la fuerza de los hechos, ya han sido usados para la introducción de OMG, pero al hacerlo han politizado y desarrollado la politicidad ecológica. El poder, el de las transnacionales y el gubernamental, debe recurrir entonces al poder del derecho, de la ley, construyendo las relaciones jurídicas suficientes para legalizar el camino de las mercancías, de estas mercancías. Si observamos la iniciativa de ley como un momento muy relevante en el proceso de legalización y legitimación de la circulación, de la mercancía novedosa, entonces se comprende el doble carácter de este tipo de iniciativas, por una parte legalizan la mercancía riesgosa, peligrosa y, por otro lado, levantan un valladar a la politicidad ambientalista que ha mantenido la crítica a la nueva mercancía. La iniciativa de ley consagra la estructura piramidal indispensable para asegurar el proceso por lo pronto de distribución y consumo de los OMG, también para complicar hasta el infinito la lucha legal de quienes hasta ahora han mantenido la politicidad ecológica a partir de argumentos éticos morales y científicos. Sin duda la iniciativa de ley legaliza los OMG y crea las condiciones para ilegalizar las acciones que se

desarrollen fuera del ámbito legal establecido. Esta iniciativa de ley es en consecuencia el inicio de los eslabones protectores de la difusión de los OMG, acotando y complicando el proceso democratizador ecológico (Cano, 2008).

Hace más de un año, en el mes de septiembre, el INE y la CONABIO confirmaron con base en los resultados de los análisis realizados por el CINVESTAV el hallazgo de los científicos de la Universidad de Berkeley, Ignacio Chapela y David Quist, de maíz nativo contaminado con maíz transgénico en las comunidades de Oaxaca y Puebla.

Hasta ahora, el gobierno mexicano no ha tomado ninguna acción seria, mientras los promotores de los cultivos transgénicos buscan eliminar la prohibición de siembra de maíz transgénico en el país.

En México, por ser país centro de origen, diversidad y domesticación del maíz, hasta ahora está prohibida la siembra y liberación en el ambiente del maíz transgénico.

En 1995, los especialistas nacionales e internacionales del maíz, convocados por el CIMMYT, el INIFAP y el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA), preocupados porque la liberalización comercial del cultivo del maíz Bt se daría en USA para 1996, dos empresas habían ya recibido la aprobación del gobierno, señalaron que "si en USA se desregula el maíz transgénico, lo más probable es que éste llegue a México en un tiempo muy corto.

Aun cuando parte de ese maíz transgénico no se adaptara bien a México es casi seguro que habrá polinización cruzada con el tiempo". A fines de 1998, el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola estableció una moratoria *de facto* al no aceptar nuevas solicitudes para realizar pruebas de campo.

Entre 1993 y 1998 se habían permitido 22 ensayos de campo de maíz transgénico bajo condiciones de alta seguridad, en extensiones no mayores a 50 metros y deteniendo el desarrollo de la planta antes de la reproducción. Diez de ellos los llevó a cabo el sector público, CIMMYT y CINVESTAV, entre 1993 y 1999, y doce, las corporaciones privadas, Asgrow, Monsanto, Pioneer y Mycogen entre 1996 y 1998.

Sin embargo, las importaciones de maíz de USA, que son alrededor de 6 millones de toneladas anuales y que contienen mezclado maíz genéticamente modificado ingresan al país sin ninguna regulación, requisito de segregación, ni etiquetado. La siembra del maíz transgénico importado provocó la contaminación de variedades de maíz nativo (De Ita, 2004).

ANÁLISIS DE LA REALIDAD

VI.1 Debate público

A varios años de iniciado el debate público sobre las importaciones de maíz transgénico y el riesgo de que estas semillas contaminarán génicamente las variedades del maíz mexicano o sus parientes silvestres, la situación nacional en general no ha cambiado mucho, no hay, por ejemplo, avances en cuanto a políticas y marco legal en bioseguridad o manejo seguro de organismos transgénicos. Sin embargo, la situación sí ha empeorado, las importaciones de maíz transgénico siguen a la alza, y lo peor, está comprobada la contaminación de maíces nativos con secuencias de DNA transgénico (Covantes, 2003).

El análisis y discusión por parte de científicos sociales sobre el uso e implicaciones diversas de la biotecnología y sus productos (entre ellos los organismos transgénicos) se inicia en México a principios de los años ochenta del siglo XX. No obstante, es hasta 1990, cuando promovido por investigadoras de la UAM-Azcapotzalco y de la UNAM, de los Institutos de Investigaciones Económicas y el de Investigaciones Sociales, que se instituye un primer foro de discusión interinstitucional y multidisciplinario, en un seminario permanente que concluyó en 1991 con un Simposio Nacional sobre Efectos Socioeconómicos de la Biotecnología.

El foro, considerado por sus organizadoras como un hecho significativo en sí mismo, fue muy importante para plantear una preocupación básica de este sector académico, la reflexión social sobre este campo resulta necesaria por diversas razones como definir las condiciones y las limitaciones de la ciencia y la tecnología, determinar los efectos reales de su aplicación en la sociedad y finalmente definir las orientaciones de la política científica y tecnológica que tengan repercusiones sociales y económicas (Casas, 1992).

A once años de este seminario, las preocupaciones siguen siendo las mismas, las preguntas por parte de muchos miembros de la sociedad sobre las repercusiones de este cambio tecnológico siguen siendo las mismas. Ambas siguen siendo vigentes y aún no hay suficientes respuestas. Después de años de discusión vale la pena preguntarnos ¿Qué queremos saber y hacer como sociedad mexicana con los organismos transgénicos?

La iniciativa de ley de bioseguridad votada por el Senado de la República parece más una propuesta de ley para proteger el interés privado que el interés público; más para

promover la liberación en el ambiente de organismos transgénicos porque no hay alternativa tecnológica para proteger la riqueza biológica de México, más para evitarle a la industria de alimentos informar a sus clientes qué materia prima utilizan que para brindar el derecho a la elección del consumidor y proveer a la Secretaría de Salud de un elemento para el monitoreo, rastreo y vigilancia de los productos transgénicos que aprueba para consumo humano, como lo puede ser el etiquetado obligatorio (Massieu, 2000).

Si no se tiene clara la repuesta, se seguirá caminando en círculo, ante la complacencia de los únicos que se beneficiaran de esto, las grandes corporaciones agrobiotecnológicas y la industria de alimentos.

Para Greenpeace, la liberación en el ambiente de organismos transgénicos implica riesgos para los ecosistemas, muchos de ellos incluso son desconocidos. Lo peor es que una vez liberados en el ambiente, retirarlos será prácticamente imposible (Figura 39).



Figura 39 .Testimonios de algunos productores que han sufrido la contaminación transgénica en sus campos, principalmente por uno de los alimentos transgénicos, el maíz Mon 810.

Tomado de www.greenpeace.org

Para el caso del maíz transgénico, Greenpeace considera que la liberación de esta especie, simplemente por que somos centro de origen y diversidad genética, debe ser prohibida. Es un error arriesgar a los cientos de variedades nativas de las cuales se alimentan millones de mexicanos. El maíz es estratégico en términos de seguridad alimentaria nacional y mundial, no obstante, su centro de origen ya está contaminado con secuencias de DNA transgénico.

Ante la gravedad de los hechos y a pesar de que la dispersión y la frecuencia de los transgenes en la diversidad biológica del maíz, avanzan en su centro de origen, el gobierno federal no hace nada y el Congreso se preocupa por proteger al capital privado.

Las preguntas que surgen son: ¿A quién consultaron? ¿En que marco legal se basaron para dichas aprobaciones? ¿Qué estudios de impacto ambiental y de salud realizaron para aprobar esta tecnología y cuáles otros realizan para confirmar su efecto en el ambiente y la salud?

El gobierno federal ha aprendido bien la publicidad de Monsanto, Syngenta y otros, y la repiten hasta el cansancio, dice que hay que elevar la producción de alimentos (Figura 40), pero no apoyan la producción nacional. Dice que como México no produce lo suficiente, entonces aprueban más importaciones. Dice que los transgénicos elevan la productividad en la agricultura y así se podrá resolver el problema del hambre en el mundo, un discurso gastado desde la promoción de la revolución verde. Todos estos argumentos denotan una falta de respeto a la población, pues para muchos nos es claro que la producción de alimentos no es sólo una cuestión de falta de desarrollo tecnológico, que para el caso existen otras alternativas a la ingeniería genética para resolver los mismos problemas que los transgénicos pretenden resolver. El hambre en el mundo es un problema complejo con variables como deterioro ambiental, distribución de la riqueza, guerras, por mencionar sólo algunas.

MONSANTO

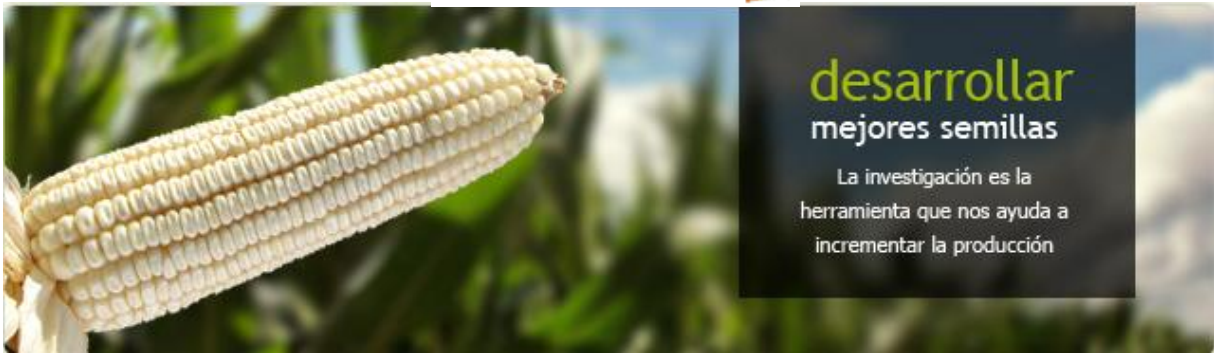


Figura 40. Empresas dedicadas al desarrollo de productos transgénicos

Tomado de www.monsanto.com.mx y www.syngenta.com.mx.

Después del trabajo publicado por Greenpeace y otros grupos sobre las importaciones de maíz transgénico es de merecer, por hacer público lo que con tanto esmero ha mantenido oculto el gobierno, un cambio de actitud, tanto del poder ejecutivo, como de los legisladores y del resto de la sociedad sobre estos asuntos.

VI.2 Opinión de especialistas

Aun cuando la nueva biotecnología agrícola representa un potencial considerable, ésta no representa la solución a los problemas a los cuales se enfrenta la agricultura mundial. Cabe puntualizar que la integración de esta metodología, aunque reduciría el

tiempo del proceso de mejoramiento, no elimina la aplicación de los procedimientos usados en los métodos de mejoramiento tradicional, ya que en muchos casos será necesario transferir el gen de interés de una variedad transformable a otra no-transformable, o bien a otra que posea características agronómicas adicionales. Por otro lado, compartiría todos los problemas asociados al estilo de agricultura que se ha implantado en el mundo. La agricultura convencional es una práctica que depende enormemente de una inversión elevada y de insumos tecnológicos. Algunos de los avances tecnológicos han llevado a que el agricultor minimice los costos de producción por unidad; sin embargo, su utilización es altamente dependiente de subsidios gubernamentales o de investigación realizada en industrias del sector. De hecho, muchos de estos avances han llevado a una disminución de las oportunidades de trabajo en el campo, a favor de más empleos en las ciudades en donde se producen los insumos, maquinarias y químicos. En este sistema, los bajos costos de producción, que en algunos casos se refleja en alimentos más baratos, impacta a los consumidores y al negocio agrícola; sin embargo, los inconvenientes recaen sobre toda la sociedad. Las consecuencias negativas de estas prácticas son, principalmente, la contaminación por fertilizantes y pesticidas y la degradación o erosión de la tierra, entre otras. De ahí que exista una preocupación importante y surjan dudas sobre el balance de beneficios contra perjuicios de la agricultura intensiva la cual no preserva sino que daña el medio ambiente y por tanto se considera una actividad no sustentable. Desafortunadamente, este tipo de práctica es la que domina y se promueve en las áreas cultivables del mundo desarrollado y no desarrollado (Covarrubias, 2004a).

Ante este panorama, la nueva biotecnología agrícola posee el potencial de aliviar algunos de los efectos negativos de la agricultura intensiva al poder generar plantas resistentes a algunos insectos, hongos, bacterias o nematodos, lo cual consecuentemente reduciría el uso de pesticidas y, por tanto, los niveles de contaminación por estos químicos tóxicos. Como todas las tecnologías, no en todos los casos la biotecnología agrícola moderna haría de la agricultura una actividad ambientalmente amigable o segura. Por ejemplo, las compañías que producen herbicidas han invertido en la generación de plantas que toleran herbicidas, generalmente, el herbicida para el cual tiene el mercado más grande. Así que si se continúa con un enfoque como éste para controlar el crecimiento de hierbas en los campos de cultivo, esto aumentará el uso de químicos en la agricultura y, con ello, la consecuente contaminación. Una situación similar, que afectaría la conservación del medio ambiente y el equilibrio de nuestros ecosistemas, pudiera ser el que esta tecnología llevara el uso indiscriminado, guiado por intereses económicos, de ciertos

ecosistemas que antes no habían sido utilizados, como pudieran ser los desiertos o las zonas de playa. Así que no es difícil llegar a la conclusión de que si se continúa estimulando una agricultura intensiva, el escenario más probable en el futuro será que la biotecnología moderna reforzará la tendencia hacia una agricultura industrial, altamente dependiente de químicos y de los altos niveles de insumos (Charles, 2001).

Este análisis lleva a la conclusión de que las sociedades del mundo deben enfrentar el reto de decidir la dirección que las prácticas agrícolas deben tomar en el futuro. Por tanto, sería importante definir si queremos una mayor industrialización que dependa de inversiones millonarias, o bien si preferimos una mayor sustentabilidad que requeriría de menos insumos externos. En este contexto, podríamos considerar a la biotecnología agrícola moderna como cualquier otra tecnología que, dado los incentivos apropiados, y en combinación con prácticas tradicionales, pueda conformar sistemas agrícolas más eficientes y sustentables. De hecho, cabe recalcar que el hambre en el mundo no es un problema que se resolvería con esta tecnología, como algunos claman, ya que nuestros sistemas agrícolas actuales producen suficientes alimentos. La razón de la persistencia del hambre en el mundo reside en otras causas que no se discutirán. Aun cuando es verdad que el crecimiento de la población mundial tiende a incrementarse de forma alarmante y esto lleva a la preocupación de si el ser humano será capaz de producir la cantidad de alimentos suficiente, la solución de este problema no recae necesariamente o solamente en la producción de alimentos, si no también en su distribución adecuada, entre otras cosas (Covarrubias, 2004b).

Los transgénicos son más caros, producen menos, contaminan más y son objeto de las más acres controversias sobre sus posibles efectos en la salud, tema que no se ha abarcado, pero sobre el que existe abundante literatura. Producen también un aumento de la dependencia económica y tecnológica y si pese a todos estos hechos su uso se expandiera, en un futuro muy cercano entrañarán riesgos nunca antes vistos mediante cultivos alimentarios manipulados para expresar sustancias no comestibles y/o con el potencial de ser activados para provocar esterilidad.

Los transgénicos muestran, como ya ha sucedido con muchos otros productos fabricados para las ganancias y no para el interés público, que no es necesario que sean realmente buenos, inocuos o tengan beneficios, para que lleguen al mercado. Por todo esto, la única opción sensata es aplicar un estricto principio de precaución que impida su liberación en el ambiente, evitando poner en riesgo la enorme diversidad agrícola, natural y cultural de México, el aumento de la contaminación de

las semillas campesinas y la introducción de nuevas herramientas de sojuzgamiento de las economías campesinas y de la soberanía alimentaria (Ribeiro, 2004).

Los biotecnólogos están convencidos de que urge una legislación sobre bioseguridad; una legislación que sea cuidadosa del medio ambiente, pero cuidadosa también de que la biotecnología moderna promueva y fortalezca nuestra tradición agrícola y alimentaria. Para ello se requiere de imaginación y arraigo: para no desperdiciar esta extraordinaria herramienta de la que disponemos para resarcir el daño causado al planeta y resolver sus más agobiantes problemas; para usar el potencial de la biosfera, para correr riesgos sí, pero pensando a largo plazo, desarrollando cada vez más productos biodegradables resultado de las tecnologías biológicas, desarrollando nichos, siendo eficientes y, desde luego, siendo humildes. La biotecnología, es tan sólo una herramienta (López-Munguía, 2003).

Una de las características más importantes en la elaboración y comercialización de los alimentos transgénicos y de la polémica que han generado en muchas partes del mundo es que son producto de la ciencia y por lo tanto de la actividad de los científicos. Sin duda alguna, esta polémica en particular se extiende hasta abarcar el carácter mismo de la ciencia contemporánea. Mientras los defensores de estos productos sostienen la defensa fundados en buena parte en la convicción generada desde finales del siglo XVI, con Bacon, 1961, como uno de sus principales impulsores del inmenso potencial que el ser humano tiene para, utilizando la ciencia, dominar la naturaleza y encontrar explicaciones verdaderas; los críticos de la producción de estos alimentos señalan entre otras cosas algunas deficiencias y limitaciones que la ciencia misma tiene para poder evaluar el impacto de su producción y comercialización. Por ello, resulta ineludible tomar una posición con respecto al carácter que la ciencia ha tenido y tiene (Muñoz, 2001).

Una de las discrepancias más evidentes entre los promotores de la biotecnología agrícola y sus detractores está en los balances finales respecto entre los beneficios y riesgos tanto de la tecnología misma, como de sus productos y medios de control. Se discute globalmente sobre las grandes soluciones o las graves amenazas que reportaría a la salud, al equilibrio ecológico o al progreso económico, mediante argumentos o evidencias que son fácilmente cuestionables desde el punto de vista metodológico, técnico e histórico. Actualmente, por ejemplo, se hacen alertas, denuncias y suposiciones sobre todos los transgénicos, que frecuentemente carecen de sustento en pruebas empíricas reproducibles, publicadas o discutidas abiertamente. Así como la ausencia de evidencia no es evidencia de ausencia, *motto* preferido de

grupos muy atentos al principio precautorio, la mera suposición de riesgos, por muy evidentes que parezcan, no nos releva de la necesidad de pruebas aplicables, lo que también es una más entendida actitud que sostienen otros grupos muy afectos al método científico. Alternativamente, los datos de presuntos beneficios se fundamentan con cierta insistencia en extrapolaciones de otras condiciones productivas, relativamente distantes o especiales, que no son comparables a la que podrían ser el blanco a atinar dentro de la problemática agroalimentaria de nuestro país, por ejemplo, plagas locales, aridez o acidez de suelos, prácticas productivas ineficientes, malos hábitos alimenticios y otras. Por esto, la idea es promover una actitud más crítica, escepticismo informado, dirían los más ambiciosos, y no alimentar posturas intolerantes, complacientes o peor aún, indiferentes respecto de los OMG. Sólo así nos permitiremos discutir abierta y productivamente nuestra posición al respecto, como individuos y como sociedad (Galindo, 2001).

Un punto de vista insoslayable es asumir que cada tecnología o producto derivado tiene riesgos y beneficios potenciales que motivaron su generación o adopción. Sin ir más lejos, nuestro sistema alimentario depende mayormente de cultivos intensivos de temporal; almacenamiento rústico y transporte terrestre, así como el procesamiento y empaque en zonas industriales. Aunque tales procedimientos se traducen normalmente en un mayor volumen de productos saludables, frescos o no perecederos a costos poco variables, diversas eventualidades podrían provocar peligros graves si no hubiera un marco regulatorio y mecanismos de control que los eviten. Entonces, la obtención de balances más justos entre ambos tipos de efectos, en el contexto de los cultivos MG, requiere una metodología que arroje datos específicos, científica y técnicamente sustentados sobre las principales aseveraciones que se plantean, por ejemplo, en los medios impresos. Nuevamente, este abordaje es necesario para contrarrestar mitos, falacias y ambigüedades que impiden tener un nivel de certidumbre, que resultaría de aplicarlo y que poseen otras cosas como los jabones, las computadoras o las vacunas.

Un análisis de riesgos completo (evaluación, manejo y comunicación de los mismos), le confiere un valor más significativo de credibilidad al concepto de certidumbre o a la incertidumbre real (como parámetros), que permite transitar desde una percepción efímera y frágil hacia posiciones más sólidas y definitivas en la toma de decisiones entre opciones múltiples y críticas. La certidumbre o la desconfianza de la gente en relación con cierto tipo de productos alimenticios dependen de varias condiciones analizables, y representa, de algún modo, la accesibilidad o traducción de la información derivada del análisis de riesgos. Mientras más legible sea esta información más firmes serán los argumentos que puedan derivarse para apoyar,

postergar o rechazar cada elección, en este caso, los productos de OMG. Existe una multitud de aspectos sobre su origen, estrategias, procedimientos, intenciones y consecuencias que pueden conocerse, comentarse, ampliarse, por separado o en conjunto, con mayor apertura y actitud crítica, porque actualmente no hay historias acabadas, aun tomando en cuenta los ejemplos más sonados (maíces transgénicos en Oaxaca, polen Bt y las mariposas monarca, patentes de canola en Canadá, etc.). Afortunadamente, contamos cada vez con más información, sin embargo un método más común para contender con ella, sería también una fortuna (Padilla, 2002).

La biotecnología y sus aplicaciones llevan consigo riesgos. Por esto, en materia de biotecnología, deben establecerse mecanismos de identificación, evaluación y gestión del riesgo que generan.

El desarrollo de la biotecnología y la aplicación de sus resultados, como la globalización, es un proceso que nadie puede detener, ni conviene intentarlo. Pero los seres humanos en los diferentes papeles sociales que desempeñan, científicos, tecnólogos, políticos, gobernantes, legisladores, administradores públicos, funcionarios de organizaciones internacionales, empresarios y los ciudadanos de la calle, pueden tomar medidas y promover acciones que podrían influir el desarrollo de los sistemas biotecnológicos y sobre todo encauzar sus beneficios y su impacto en la sociedad y en el planeta.

Se debe reconocer que en torno a la biotecnología y sus aplicaciones se congregan y enfrentan intereses económicos, militares, sociales, culturales y ambientales, que muchas veces son incompatibles. Dado que los sistemas biotecnológicos generan incertidumbre e ignorancia, y en virtud de que existe una amplia diversidad de valores y de intereses en juego, ya no es aceptable en las sociedades democráticas que las decisiones se tomen sólo con base en la opinión de expertos. Para la toma de decisiones se requiere la participación de muy diversos grupos de expertos y de no expertos.

En el campo legislativo y jurídico debe propiciarse el establecimiento de los debidos mecanismos de vigilancia y control de los posibles efectos de los sistemas biotecnológicos que permitan: a) tomar decisiones en cuanto a restricciones sobre posibles cursos de investigación y sobre posibles aplicaciones de sistemas biotecnológicos específicos porque podrían ser perniciosos; b) tomar decisiones sobre cómo determinar cuándo ciertas investigaciones o determinadas aplicaciones podrían ser perniciosas; c) tomar decisiones sobre la atribución de responsabilidades (morales

y políticas), sobre todo cuando se dañen bienes públicos (como el ambiente o un entorno cultural); d) tomar decisiones para exigir compensaciones. Dichos mecanismos deben desarrollarse en niveles regionales, nacionales e internacionales.

¿Quiénes deberían participar en esas discusiones? La legislación no puede prever de antemano todos los agentes interesados y pertinentes en relación con cada problema específico. Por lo tanto, deben prever los mecanismos que garanticen en cada caso la participación de diferentes grupos de expertos y de diferentes sectores sociales cuyos intereses van en juego. Los expertos tienen las siguientes obligaciones: a) ser transparentes en cuanto a lo que saben y en cuanto a lo que ignoran; b) ofrecer siempre razones que respalden sus opiniones, y hacerlas accesibles a todo el público; c) nunca despreciar a la gente (ni al ciudadano de la calle ni al legislador); d) tomar en cuenta que la gente sabe mejor que nadie lo que quiere y e) reconocer que el papel de los expertos tiene un límite.

Los problemas que plantea la biotecnología ya no pueden resolverse sólo con más ciencia o sólo con más expertos (aunque en general sea conveniente investigar más, e incrementar el número de especialistas). No existe ya un único grupo, ni un conjunto definido de grupos de expertos, que puedan tomar las decisiones importantes (por ejemplo, sobre atribución de responsabilidades, determinación de compensaciones o sobre medidas de seguridad). Se requieren también novedosas formas de organización social que estimulen mayor participación ciudadana, lo cual supone mejor educación, así como un nuevo contrato social sobre la ciencia y la tecnología.

Según el nuevo contrato social sobre la ciencia y la tecnología, a la sociedad le conviene apoyar el fortalecimiento y desarrollo de núcleos de expertos que generen conocimiento fiable y útil para resolver sus problemas. La biotecnología sin duda constituye uno de los instrumentos de mayor fiabilidad para resolver muchos de esos problemas. Pero las comunidades de expertos por su parte deben reconocer que en virtud de los riesgos que generan los sistemas biotecnológicos, la vigilancia y la propuesta de soluciones a problemas específicos, como los que pueden derivarse de la aplicación de sistemas biotecnológicos, deben ser tomadas por medio de mecanismos que aseguren tanto la participación ciudadana como la de los grupos de expertos pertinentes. Por otra parte, puesto que los recursos que permiten el desarrollo de la biotecnología, sean públicos o privados, provienen del trabajo de los ciudadanos, los sistemas biotecnológicos deberían abocarse a la resolución de problemas planteados por los diversos sectores sociales, y no responder únicamente a los intereses de los sectores empresariales o militares.

La tecnología en general, y la biotecnología en particular, cambia las formas de vida de la gente. La decisión de aceptar o no los cambios en su forma de vida corresponden a la gente, no a los expertos, ni al estado. Por eso debe haber discusión pública acerca de cuáles cambios en la forma de vida, inducidos por los sistemas biotecnológicos, son deseables y éticamente aceptables (Olivé, 2003).

Más allá de la adopción de un determinado enfoque para la generación de una política específica para el desarrollo de la biotecnología agrícola en México, es importante partir de un principio básico, es esencial definir nuestra postura como país ante la biotecnología moderna y, a partir de ella, generar una política congruente que sirva de base para los procesos de toma de decisiones en los diferentes ámbitos de autoridad en esta materia, pues uno de los elementos que más puede entorpecer el desarrollo de esta área es la actitud contemplativa y dubitativa que conduce a la parálisis y a la ausencia de decisiones, la cual busca justificarse con argumentos especulativos. La falta de información no debe caber en las acciones de gobierno (Solleiro, 2003).

El dilema actual de la ciencia será cada vez más entre una investigación inescrupulosa al servicio de intereses mercantiles o bélicos, que servirá para apuntalar, no para remontar, la sociedad del riesgo, y una nueva modalidad de ciencia para la sociedad sustentable que implica una re-formulación profunda de los principios, enfoques, métodos y aplicaciones de la investigación científica.

Llevado al campo de la agricultura y la producción de alimentos, la disyuntiva anterior se traduce entre una nueva generación de investigación agroindustrial basada cada vez más en la manipulación biotecnológica (genómica), o en la búsqueda de opciones alternativas de carácter agroecológico, en donde por supuesto las contribuciones de la biotecnología deben incluirse. Todo indica que, sin una reformulación y una autocrítica profundas de quienes se dedican a la investigación biotecnológica, los OMG lejos de lo que pregonan sus creadores sólo contribuirán a incrementar la tragedia de la agricultura industrializada y, por lo mismo, a ensanchar la llamada sociedad del riesgo (Toledo, 2004).

Existe una tendencia a desarrollar cultivos genéticamente modificados para fines distintos a la alimentación humana o animal. Por ejemplo, existen en USA solicitudes de patente para la producción a gran escala de fármacos o químicos de uso industrial. Estos casos representan enormes retos para los que regulan los OMG debido a que se debe anticipar cuáles son los posibles efectos de cualquier residuo químico de estos cultivos inéditos sobre la biodiversidad, el suelo o la calidad del agua, en

particular en los casos en que estos químicos no se degraden rápidamente o sean bioacumulables. Se vislumbra un problema sumamente grave para los casos en los que existe la posibilidad de que ciertos químicos o fármacos pudieran entrar en la red trófica si el polen de los cultivos transgénicos industriales no aptos para consumo llega a los cultivos para uso alimenticio o a sus parientes silvestres, o si las semillas de los primeros se mezclaran con las de los segundos. El connotado caso del maíz MG StarLink es ejemplo de cómo, pese a la regulación, un producto aprobado únicamente para consumo animal puede llegar a la cadena alimenticia humana incluso en países con regulaciones claramente establecidas y aplicadas de manera estricta (Wheelwright, 2001).

En México, las normas de regulación de transgénicos están apenas en proceso de evaluación, y su ejecución implica retos muy grandes ante la falta de control sobre el uso y distribución de semillas y la diversidad de realidades ecológicas, agrícolas y ambientales en donde se usan. Basta imaginar las graves consecuencias que generaría el que un producto MG como el maíz anticonceptivo, que expresa anticuerpos que atacan el esperma humano, llegara por flujo génico accidental a la cadena de consumo y las mesas de miles de casas. Sería imperativo discutir la posibilidad de que escapes de este tipo de nuevos desarrollos ocurran, incluso antes de su desregulación en USA (Álvarez-Buylla, 2004).

Puesto que tienen que tomarse decisiones de alto nivel e impacto, se requieren recomendaciones al gobierno de México y a sus socios comerciales del TLCAN para armonizar el comercio con la investigación que se requiere en un país que debe proteger su biodiversidad.

La reglamentación nacional necesita ser completada: faltan normas para poder ejercer lo que ya se encuentra en los reglamentos y las leyes.

Hay que poner a punto el monitoreo y vigilancia, que no necesariamente implica que se hagan detecciones de laboratorio en las fronteras o en los puertos de entrada de los cargamentos de granos a granel. Pero ya que México es parte del Protocolo de Cartagena, éste así lo requiere, pero es claro que falta generar esa capacidad en el gobierno.

Debe iniciarse la certificación de laboratorios y de metodologías ya que las instancias involucradas en las evaluaciones de riesgos de los transgénicos deben responsabilizarse de capacitar y equipar a sus evaluadores.

Si bien en un principio aceptamos la existencia de posibles riesgos por el uso de OMG, es fundamental insistir y señalar que, hasta la fecha, en el área de la salud, no existe ninguna evidencia sustentada científica y técnicamente que indique que el uso de los productos derivados de organismos transgénicos o los propios transgénicos, utilizados como medicamentos, vacunas, alimento, cosméticos, textiles, entre otros, generen problemas novedosos y relevantes o adicionales a los ya existentes cuando se utilizan organismos o productos llamémosles convencionales, no transgénicos. Es decir, los transgénicos y sus productos para efecto de la salud son equivalentes a los organismos convencionales.

También es importante señalar, aceptando los posibles riesgos, la inexistencia de evidencia que los transgénicos liberados en el medio ambiente hayan generado problemas novedosos.

La presencia del maíz Bt en el campo mexicano, se dice, no ha generado, hasta ahora, ningún problema importante, incluyendo el hecho de la presencia del transgén en maíces criollos. Ciertamente, y se esta de acuerdo también, ahora hay que monitorear con cuidado y detalle a corto, mediano y largo plazo lo que ocurra con estas plantas y este transgén. La información y experiencia será importante para evaluar realmente los posibles riesgos biológicos. Sin embargo, no se considera que la presencia de este transgén en particular vaya a significar la desaparición de los maíces criollos en México (Bolívar, 2002).

Los conocimientos actuales son insuficientes para evaluar los beneficios y riesgos de los organismos modificados génicamente (OMG), especialmente a la luz de las consecuencias a largo plazo que estas tecnologías puedan tener en la biosfera y las futuras generaciones, la industria biotecnológica presiona al gobierno mexicano para conseguir la liberación de la siembra de maíz transgénico en México, lo que significa intentar apagar el fuego con gasolina (De Ita, 2004)

En la historia más reciente, la aplicación de uso de la tecnología derivada de la síntesis química y la energía nuclear no fue evaluada por la población a quien destinó su uso final. Hay casos derivados de estas tecnologías, promovidas principalmente por las corporaciones creadoras, que han sido impuestos por organismos internacionales y por gobiernos, sin mayor cuestionamiento que cuánta ganancia o ahorro económico significan, pero sin una evaluación costo-beneficio, que considere efectos socioeconómicos y mucho menos ambientales.

Si bien muchos productos de las tecnologías derivadas de la química y de la física han tenido efectos positivos, como por ejemplo en el área médica, también ha habido casos de efectos negativos sobre los usuarios (agroquímicos) o consumidores finales, así como afectación del medio ambiente. Estos últimos, desgraciadamente, han sido observados varios años después, sin que gobiernos responsables de su aprobación ni empresas creadoras y comercializadores de estos productos enfrenten algún cargo legal por responsabilidad del daño causado a personas, animales ni ecosistemas. Lo más increíble es que en los países, aun cuando está comprobado que tal o cual compuesto es tóxico, cancerígeno o teratogénico y además con evidencia de personas afectadas por los mismos, estos compuestos aún se producen y se venden al amparo y complacencia de los gobiernos y la satisfacción de sus productores. En México, por ejemplo, se venden compuestos que ya están prohibidos en otros países, como paratión metílico, paraquat o endosulfán.

Nos toca vivir en la era de las ciencias biológicas, gracias al avance del conocimiento de los seres vivos. En esta era se revaloran los productos y procesos naturales sobre sintéticos, la preocupación por la protección de la diversidad biológica y sus ecosistemas.

Desde hace algunos decenios la propuesta tecnológica era que, la biotecnología sería la gran apuesta de muchos para remediar casi todos los problemas del mundo.

Al mismo tiempo, hay desequilibrio de los ecosistemas derivados del modelo agrícola utilizado, cuya solución implica cambiar las formas de producir y no sólo tratar de resolver parcialmente el problema con tecnologías novedosas, sin atacar de raíz la causa de los mismos.

La sociedad que está siendo afectada, de una forma u otra, por la nueva propuesta tecnológica, debe decidir si quiere que se utilice tal o cuál técnica para resolver un problema, previniendo así que su uso no los lleve a un problema mayor.

Se requieren discusiones éticas, legales, ecológicas, económicas, sociales, etc. Es muy importante reconocer las fallas del pasado, para evitar cometerlas de nuevo. Aprender de los errores es más sabio que dejarnos intimidar por los sabios científicos de las grandes corporaciones, secundados por los gobiernos, que quieren imponernos, una vez más, el uso y consumo de sus productos sin mayor cuestionamiento.

Todos aquellos que han emitido críticas a la propuesta de los cultivos transgénicos tienen claro que la nueva tecnología biológica implica un mayor conocimiento de los

seres vivos y los ecosistemas, que está aún en desarrollo. Pero lo más importante ante la embestida tecnológica es, primero, el entendimiento real del problema que se pretende resolver y el análisis del cuál puede ser la mejor opción para su solución.

Ante la capacidad humana de crear nuevas combinaciones genéticas sin precedentes, también tenemos claro que hay una gran incertidumbre. Los conocimientos actuales son insuficientes para evaluar los beneficios y riesgos de los organismos modificados génicamente (OMG).

El planteamiento de los nuevos retos y nuevas responsabilidades como sociedad requiere, sin duda, de nuevas actitudes.

En diversas ocasiones se ha puesto en cuestión el comportamiento de los científicos de una institución pública tan prestigiada como lo es la UNAM, así como del carácter neutro que se le asigna al conocimiento científico. La biotecnología moderna y los cambios en materia legal de propiedad intelectual para privatizar la materia viva, más la promesa de mucha ganancia económica debido al monopolio de comercialización de los productos biotecnológicos durante 20 años, menoscaban el interés público y general, en tanto que el interés privado se va apoderando de la capacidad científica pública. Esto ha ocurrido ya en USA, como en otros países desarrollados, en donde cada vez es más difícil encontrar científicos que realizan trabajo independiente del interés privado (Covantes, 2007).

Lo cierto es que la introducción en México de los OMG abrió un espacio para el ejercicio de una práctica política distinta, ecopolítica. De la duda metódica del ambientalismo a la crítica certera del ecologismo. De este modo, esta crítica descubrió un horizonte inesperado, una politicidad que trasciende determinaciones clasistas, y pone en la mesa de la discusión el destino de los bienes comunes. La debilitada soberanía nacional ya había sido burlada con la introducción de OMG. Sin embargo, esto descubrió y también propició reconocer que aquí como en otros países se mantenía una firme lucha desigual, en contra de los intereses de los productores de los OMG. En consecuencia, ocurrió una globalización desde abajo, pues pronto el ambientalismo crítico percibió sus iguales en otros lados del mundo. El descubrimiento del valor de la naturaleza generó rápidamente una politicidad extra institucional que, a pesar de ser así, rápidamente inició la construcción de la política del débil, que por eso tenía que construir una crítica ética moral y finalmente política, hasta desembocar en un nuevo proyecto, la democracia ecológica a la cual se oponen las grandes transnacionales de la biotecnología cuyas matrices se encuentran en USA,

expandiéndose en aquellos países cuyos gobiernos adoptan políticas crecientemente desnacionalizadoras.

La presión, el activismo, la conformación de una opinión pública, debates y escritos propiciaron crecientemente la denuncia y el desacuerdo ante la ilegal intromisión de los OMG, mercancías, cuyos efectos tóxicos se debaten hasta la fecha. Estas circunstancias, obligan a la política institucional a impulsar la legalización de los intercambios, de la circulación de los OMG. Las mercancías no concurren por sí solas al mercado, ni se cambian por sí mismas, deben recurrir a la fuerza o al derecho, para imponer su férula en el mercado. Los mecanismos de fuerza, la fuerza de los hechos, ya han sido usados para la introducción de OMG, pero al hacerlo han politizado y desarrollado la politicidad ecológica.

El poder, el de las transnacionales y el gubernamental, debe recurrir entonces al poder del derecho, de la ley, construyendo las relaciones jurídicas suficientes para legalizar el camino de las mercancías, de estas mercancías. Si observamos la iniciativa de ley como un momento muy relevante en el proceso de legalización y legitimación de la circulación, de la mercancía novedosa, entonces se comprende el doble carácter de este tipo de iniciativas, por una parte legalizan la mercancía riesgosa, peligrosa y, por otro lado, levanta un valladar a la politicidad ambientalista que ha mantenido la crítica a la nueva mercancía. La iniciativa de ley consagra la estructura piramidal indispensable para asegurar el proceso por lo pronto de distribución y consumo de los OMG, también para complicar hasta el infinito la lucha legal de quienes hasta ahora ha mantenido la politicidad ecológica a partir de argumentos éticos morales y científicos. Sin duda la iniciativa de ley legaliza los OMG y crea las condiciones para ilegalizar las acciones que se desarrollen fuera del ámbito legal establecido. Esta iniciativa de ley es en consecuencia el inicio de los eslabones protectores de la difusión de los OMG, acotando y complicando el proceso democratizador ecológico (Verger, 2004).

La biotecnología en general promueve modelos de sociedad futuros y de esta manera provoca controversias tanto acerca de los riesgos como de los problemas por resolver. La protesta ha bloqueado en gran medida el modelo biotecnológico de agricultura en Europa. Mediante varias organizaciones de la sociedad civil, la gente ha debatido los cultivos transgénicos y las alternativas.

Los procedimientos participativos han sido vistos como medios para democratizar la tecnología, pero en la práctica tienden a tecnologizar la democracia. Por medio de los procedimientos deliberativos oficiales, por ejemplo, las conferencias de consenso, los

ciudadanos ordinarios han criticado la regulación por inadecuada para manejar los riesgos. Sus conclusiones todavía aceptan la biotecnología como una herramienta neutral para incrementar la eficiencia ecológica o la competitividad económica. Los asuntos del control políticoeconómico se reducen a medidas directivas para controlar el riesgo biofísico. Más aún, el debate público se refiere comúnmente a la tecnología, como si ésta significara solamente cultivos transgénicos. Los métodos alternativos rara vez son llamados tecnologías. ¿Por qué? Quizá porque este término es aplicado sólo cuando cualidades humanas son fetichizadas como propiedades de cosas, y donde las relaciones sociales toman la forma de relaciones entre cosas. Tal lenguaje excluye definiciones alternativas de problemas, procesos, habilidades, entre otras (Levidow, 2004).

VI.3. Polémica actual

Existen muchos mitos acerca del controversial tema de los organismos modificados genéticamente, los cuales han causado gran polémica en la actualidad y sin embargo las repuestas no están en la misma proporción, he aquí algunos de ellos:

¿Los alimentos transgénicos varían con respecto a los naturales sólo en la característica que fue modificada?

Lo cierto es que la inserción de genes extraños puede causar cambios inesperados en el funcionamiento de otros genes. Las moléculas de los genes podrían ser manufacturadas en cantidades incorrectas y en tiempos o posiciones equivocados, o pueden producirse moléculas nuevas. Los alimentos transgénicos pueden, por lo tanto, contener toxinas inesperadas o moléculas alergénicas que pueden afectar a nuestra salud o a la de nuestra descendencia. Es el caso del triptófano que mató en USA a 27 personas y afectó la salud de otras 1,500 en 1998.

¿Los alimentos transgénicos han sido manipulados cuidadosamente y son perfectamente seguros?

Lo cierto es que hay serias dudas sobre la prueba adecuada y sobre la validez de las conclusiones. Se necesitan pruebas a largo plazo antes de asegurar que un transgénico es confiable. Las pruebas sobre los nuevos cultivos transgénicos las realizan las mismas empresas que pretenden registrarlos. Además las Administraciones, en general, no se han dotado de los medios necesarios (déficit cero y demás dietas de adelgazamiento) para ejercer un verdadero control. Otro asunto que

tiene que ver con nuestra salud es la posible aceleración del desarrollo de resistencia a los antibióticos, debido al abuso de genes resistentes en la producción de alimentos transgénicos.

¿Los alimentos transgénicos son de una calidad superior?

Esta afirmación es perfectamente absurda, lo cierto es que hasta la fecha no se ha demostrado que los alimentos transgénicos sean mejores que los naturales. La mayoría de las cosechas transgénicas han sido diseñadas para resistir herbicidas específicos (es el caso del glifosato) o para producir sus propios insecticidas (es el caso del gen tóxico a perforadores del *Bacillus thuringiensis*) o para prolongar su vida comercial (es el caso del fracasado tomate Flavor Savr, diseñado para alargar la duración sólo de su piel para mantener la apariencia). La adición de algún tipo de provitaminas u otras propiedades farmacéuticas no deberían ser incorporadas a los alimentos generales. Una dieta equilibrada es más que suficiente para mantener la salud, nuestro cuerpo no requiere dosis adicionales (que en muchos casos no se digieren y pueden ser perjudiciales) lo más saludable es que no tengan toxinas, que sean lo que siempre han sido y los que, tras millones de años de convolución, nuestro cuerpo ha seleccionado.

¿Uno siempre puede abstenerse de comer transgénicos?

Lo cierto es que en este momento muchos alimentos contienen ingredientes transgénicos no etiquetados, particularmente productos que contengan harina y aceite de soya, lecitina, aceite de colza y productos de maíz. Precisamente uno de los aspectos más debatidos y uno de los mayores logros en el Protocolo de Bioseguridad fue el etiquetado de productos transgénicos. Concretamente la soya y el maíz que entra a diferentes países por millones de toneladas al año para alimentar a una ganadería sin suelo procedente de USA, Argentina o Canadá son mayoritariamente transgénicos.

¿La ingeniería genética es exacta, es precisa, está plenamente controlada?

Según el premio Nobel de Medicina y Fisiología de 2002, el biólogo Sydney Brenner:

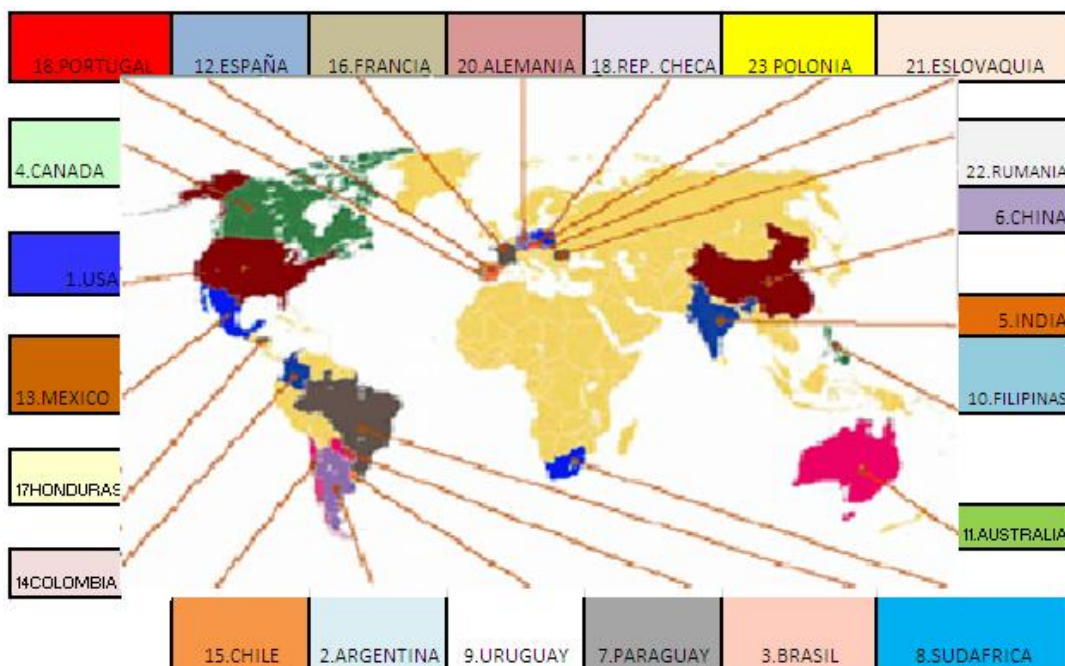
-Todo el mundo creyó que una vez que conociéramos la secuencia completa del genoma humano entenderíamos todo, pero no entendemos básicamente nada. Cada

gen tiene varios modos de expresión, algunos restringidos a tejidos específicos, con un gen se pueden hacer varias proteínas funcionales que son muy diferentes y cada gen puede tener hasta cinco de estas variantes. Comprender la variación genética y cómo interactúa todo será un gran desafío en el futuro.

Lo cierto es que la ciencia conoce sólo pequeñas partes del DNA de un organismo superior. Está demostrado que los genes no operan aisladamente, por el contrario, funcionan de manera compleja y son influenciados por la acción de otros genes. Si bien un gen puede ser separado exactamente del DNA de una célula, su inserción en el DNA de otra es enteramente fortuita. Esta inserción rompe el orden de los genes en el DNA y puede dar lugar a cambios inesperados. Richard Lewontin, profesor de Genética de la Universidad de Harvard, ha dicho de la ingeniería genética: “Tenemos un conocimiento tan miserablemente pobre de cómo evoluciona el DNA de un organismo que me sorprendería que no tuviéramos algún día un rudo golpe o uno detrás de otro” (Novás, 2005).

VI.4. Derechos del consumidor

Actualmente la superficie de cultivos transgénicos es aproximadamente de 4 millones de hectáreas en todo el mundo según datos del Servicio Internacional sobre la incorporación de la Biotecnología en la Agricultura. Esta superficie se reparte entre solamente trece países, de los cuales cuatro (USA, Argentina, Canadá y China) acaparan el 99 % de estos cultivos. El restante uno por ciento se reparte, sobre todo, entre: Australia, Sudáfrica, España, Uruguay, Brasil y México (Figura 41).



1.USA.47millones ha. Canola, maíz y soya	13.México.0.1millones ha. Maíz y algodón
2.Argentina.10.1millones ha. Soya, maíz y algodón	14.Colombia.<0.05millones ha. Algodón
3.Brasil.11millones ha. Soya y algodón	15.Chile.<0.05millones ha. Maíz, soya y canola
4.Canadá.7millones ha. Canola maíz y soya	16.Francia.<0.05millones ha. Maíz
5.India.6.8millones ha .Algodón	17.Honduras.<0.05milones ha. Maíz
6.China. 3.8millones ha .Maíz	18.Rep.Checa.<0.05millones ha. Maíz
7.Paraguay.2.9millones ha. Soya	19.Portugal.<0.05millones ha. Maíz
8.Sudáfrica.1.0millones ha. Maíz, soya y algodón	20.Alemania.<0.05millones ha. Maíz
9. Uruguay. 0.5millones ha. Soya y maíz	21.Eslovaquia.<0.05millones ha. Maíz
10.Filipinas.0.3millones ha. Maíz	22.Rumania.<0.05millones ha. Maíz
11.Australia.0.1millones ha. Algodón	23.Polonia.<0.05millones ha. Maíz
12.España.0.1millones ha. Maíz	

Figura 41. Países productores de Transgénicos

Tomado de James, 2005.

En la Unión Europea los únicos alimentos transgénicos aprobados son la soya y el maíz, frente a los más de 50 alimentos transgénicos comercializados en todo el mundo. Además existen entre 250 y 300 más en las últimas fases de experimentación y en las primeras de solicitud de permiso de comercialización (Beck, 1998).

Mientras que en USA el gobierno consideró en su momento innecesario desarrollar una legislación especial para los alimentos transgénicos, en Europa la situación es bien diferente. Actualmente la legislación europea es la más restrictiva que existe no solamente en lo que se refiere a los tests, al sembrado y a la venta de cultivos transgénicos, si no también en uno de los aspectos más polémicos y discutidos dentro de la legislación, el etiquetado de alimentos genéticamente modificados. Recientemente se ha aprobado en el Parlamento europeo la legislación más estricta del mundo sobre etiquetado de alimentos y piensos transgénicos (Figura 42) (Ford, 2000).



Figura 42. Consumidores alrededor del mundo exigen el etiquetado de los productos transgénicos Tomado de www.greenpeace.org

Hasta la entrada de la nueva ley, la normatividad vigente desde 1997 obligaba a que todos los alimentos con más del 1 % de OMG llevaran impresa en la etiqueta la leyenda “fabricados a partir de soya/maíz modificado genéticamente”, quedando excluidos de esta obligatoriedad aquellos alimentos que no contenían más del 1 % o aquellos donde no se encontraba el DNA y/o proteínas extraños en el producto final, aunque utilizaran en su composición componentes provenientes de OMG como lecitina, aceites y grasas vegetales (Ford, 2000).

Sin embargo, en USA la legislación no exige el etiquetado de alimentos que contengan OMG autorizados. Aunque su contenido sea superior a 1 %, es un etiquetado voluntario. Esto provoca problemas en la Unión Europea, sobre todo en aquellos cultivos que, al no producirse en Europa, han de importarse de USA donde son mayoritariamente transgénicos, como la soya. Así, en el momento de la importación se han de establecer con claridad las dos líneas de producción en su origen: la de los alimentos transgénicos y la de los no transgénicos. Probablemente, en el caso del maíz Starlink, una forma de etiquetado que lo hubiera identificado como no autorizado para consumo humano habría evitado su entrada en la cadena alimentaria y hubiera ahorrado a la empresa el enorme gasto que supuso rastrear el transgén en los productos de maíz que lo contenían.

Con la entrada de la nueva ley de 2002 se endurece la legislación europea en temas de etiquetado en alimentos y piensos, permitiendo tanto a los consumidores como a los agricultores estar informados y poder elegir libremente qué productos comer o utilizar. En ella se contemplan los siguientes acuerdos (Velasco, 2003):

- Todos los alimentos e ingredientes producidos a partir de organismos transgénicos tienen que estar etiquetados, incluyendo los ingredientes altamente procesados como el azúcar, el aceite o el almidón que provengan de OMGs (durante ese procesamiento, el DNA modificado y las proteínas procedentes de éste son destruidas y, por tanto, no aparecen en el producto final)
- El umbral para el etiquetado se rebaja al 0.9 %
- Por primera vez se establece la obligatoriedad de etiquetar los piensos genéticamente modificados que sirven de alimento a los animales
- Se establece un sistema de trazabilidad que permite seguir el rastro de los OMGs a través de toda la cadena de producción y procesado de alimentos hasta el producto final
- Todos aquellos productos resistentes a antibióticos quedan descartados

Sin embargo, hay algunos puntos que no han sido tan positivos, por ejemplo:

- El rechazo de la propuesta danesa de etiquetar los productos derivados de animales que han sido alimentados con piensos genéticamente modificados, tales como la leche, la carne o los huevos; aunque se recomienda a los productores y distribuidores que informen voluntariamente en el etiquetado, en el caso de que los hayan utilizado
- La decisión de permitir hasta un 0.5% de contaminación accidental o cruzada de OMGs no autorizados por la UE. Aunque se trata de un régimen de transición de tres años, tras el que se volverá a la política de tolerancia cero

Estas leyes ponen de manifiesto un concepto básico que es el derecho que tiene el consumidor a estar informado y así elegir libremente qué comer a través del etiquetado de los OMG. Las multinacionales insisten en que estos alimentos son totalmente seguros pero los grupos ecologistas lo ponen en duda. Mientras exista esa incertidumbre parece bastante razonable permitir a los consumidores poder elegir. Y la mayoría de ellos ya lo está haciendo. En Europa los alimentos transgénicos gozan de muy poca popularidad. Países como Francia muestran su rechazo mediante etiquetas donde indican que los alimentos normales están elaborados sin OMG. En España algunas multinacionales se han visto obligadas a retirar sus productos transgénicos ante la escasa aceptación que han tenido en el consumidor español. En Inglaterra, en 1999, las principales cadenas de supermercados decidieron etiquetar voluntariamente los OMG pese a que la normativa vigente no obligaba a ello comprobando que los consumidores preferían los alimentos naturales frente a los transgénicos aunque aquellos fueran mucho más caros. La comunidad científica es la única que puede darnos respuestas rigurosas sobre este tema. Pero ni siquiera ésta se pone de acuerdo a la hora de afirmar si son seguros al 100 %.

En tanto, mientras se espera a que aclaren todas las dudas, los consumidores tenemos todo el derecho a seguir manifestando nuestras reservas e incluso nuestro rechazo ante tales alimentos, una actitud que queda bien reflejada en el nombre con que la prensa británica ha bautizado a los alimentos modificados genéticamente, Alimentos Frankenstein (Velasco, 2003).

DISCUSIÓN

Se puede decir que vivimos en un mundo en donde la tecnología y los descubrimientos científicos avanzan día con día, se entendería este avance como sinónimo de bienestar para la sociedad, sin embargo esto no ha sucedido, aunque es importante considerar la evolución que ha tenido la ciencia no siempre se han obtenido ventajas de ella. Analizando los orígenes del maíz y sus pasos evolutivos nos damos cuenta que ya existía el uso del mejoramiento genético desde que los antiguos indígenas lo cultivaban; pero actualmente hablar acerca del tema mejoramiento genético u organismos genéticamente modificados está casi satanizado, principalmente por la desinformación que existe o el poco interés que le han dado.

Por el tipo de sociedad en la que vivimos deberíamos aplaudirles a los científicos el esfuerzo que han realizado a lo largo de las investigaciones pero esto no sucede, son pocas las personas que defienden a la Biotecnología, Ingeniería Genética, Terapia Génica y cualquiera que sea su nombre, lo peor del caso es que estas pocas personas son profesionales o los mismos científicos y aun son menos quienes apoyan los proyectos de investigación.

Sin embargo el poco interés de la sociedad o el miedo que sienten al hablar de este tema es lo que ha provocado controversia y polémica en la actualidad, es bien sabido y está sustentado bajo experimentación, que muchos organismos genéticamente modificados no han causado daño alguno en la sociedad y esto es porque que se han utilizado durante varios años pero la gente ni siquiera está enterada, como es el caso de las tortillas que se elaboran con MASECA (la cual contiene harina proveniente de los cultivos de maíz transgénico en USA) y éstas se consumen diariamente en nuestras casas sin presentar un efecto secundario en las personas. Aunque esto no indica que todos los organismos modificados genéticamente no son peligrosos, se han modificado múltiples variedades de organismos de los cuales no a todos se les ha comprobado su inocuidad y tampoco han sido aprobados legalmente.

Es importante señalar que a pesar de que existen leyes que prohíben su cultivo, venta, exportación e importación en distintos países esto no ha servido de mucho ya que la mayor parte de los diferentes gobiernos a nivel mundial, están coludidos con las transnacionales las cuales a pesar de defender y apoyar los organismos modificados genéticamente respaldándose supuestamente por beneficio a las comunidades rurales y para terminar con el hambre mundial, sólo se han dedicado a lucrar con la ciencia, terminando así con las variedades silvestres de plantas, despojando a los agricultores

y/o indígenas que trabajan sus tierras, elevando el precio de sus productos y engañando a la sociedad al decir que esto sólo es en beneficio de la humanidad.

Desde el punto de vista alimenticio no se ha terminado de comprobar si causa algún daño el consumir un alimento modificado genéticamente o que algunos de sus componentes provengan de un OMG ya que las pruebas las hacen las mismas transnacionales y el gobierno no da apoyo para que diferentes instituciones dedicadas a la investigación lo hagan.

Hablando culturalmente nuestros indígenas ya han perdido parte de las variedades silvestres lo que representa la inexistencia de los alimentos de nuestros antepasados debido al impacto ambiental del cual no muchos están interesados.

Es importante señalar que a la biotecnología no se le puede restar valor, ya que ha dado muchas ventajas a la sociedad independientemente del sector alimenticio se han obtenido avances en el área médica y farmacéutica (creación de vacunas, insulina, etc.), así también en el área ambiental, hablando por ejemplo de biorremediación, en el área de aparatos tecnológicos (biochips), en el área pecuaria (mejoramiento de animales, clonación), etc., sólo que los problemas comienzan cuando se quieren obtener múltiples ganancias y no aportar beneficios a la sociedad.

Aun no se sabe ciertamente si la biotecnología y particularmente los OMG o mejor conocidos como transgénicos son benéficos o perjudiciales pues la polémica y controversia que existe actualmente nos hace dudar principalmente como consumidores, claro esta que toda sociedad lo que busca es un beneficio propio y tratar de evitar o evadir riesgos y peligros, sin embargo es importante apoyar siempre los avances y descubrimientos científicos y que los mismos científicos informen a la sociedad que es lo que se esta consumiendo, también se requiere que los gobiernos apoyen a la ciencia por que en un futuro es lo único que nos podría ayudar a solucionar problemas específicos.

Y aunque el congreso de los Estados Unidos Mexicanos decretó una Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados que incluye 12 títulos, 124 artículos y 12 transitorios los cuales se refieren a la creación, desarrollo y comercialización de productos genéticamente modificados, no se ha observado claramente la participación del gobierno pues ya sea ha detectado la presencia de OMG de manera ilegal y el efecto de la liberación en el ambiente de variedades transgénicas podría provocar consecuencias no deseadas como la perdida de las variedades nativas ya que México es el centro de origen y diversidad del maíz, estado

actual de biodiversidad en razas locales y teozintles silvestres; por lo que se perdería parte de nuestra cultura, herencia de nuestros ancestros.

CONCLUSION

- ✚ Los avances científicos y los desarrollos tecnológicos han proporcionado visiones y cambios para el mejoramiento del entorno y para resolver problemas que benefician la vida de los humanos.
- ✚ Actualmente en la agronomía las tierras cultivables son escasas, las condiciones climáticas no son aptas y no se permite fácilmente el uso de pesticidas, ocasionando así una marcada disminución en la producción alimentaria. Aunado a esto la población del planeta ha aumentado exponencialmente y todo esto ha propiciado la formación de zonas de hambruna.
- ✚ La nueva Biotecnología ha desarrollado para la agronomía organismos resistentes a plagas y cambios climáticos que además presentan un mejor aspecto, una mayor calidad de nutrimentos, ha aumentado su tiempo de vida tanto natural como de anaquel y están libres de pesticidas; con esto se pretendió terminar la hambruna en el planeta.
- ✚ En los últimos 20 años el conocimiento de los genomas en plantas y animales ha permitido la manipulación de genes con lo cual se diseñaron los organismos modificados genéticamente, prometiendo así la panacea para desarrollo de nuevas formas de vida.
- ✚ México es reconocido a nivel mundial por su maíz, por la gran diversidad de este, por que es centro de origen además porque representa la base de la gastronomía y es de gran importancia en la cultura mexicana.
- ✚ Los OMG desarrollados por grandes compañías se están cultivando ya en diferentes regiones del planeta sin control por lo cual se están mezclando con las formas naturales generando riesgo de perdida de biodiversidad. En el caso del maíz ya se esta perdiendo el germoplasma original y las formas nativas.
- ✚ Es necesario que haya un biocontrol de los transgénicos y leyes que los regulen, comprueben su efectividad así como sus efectos secundarios para permitir su libre comercio. A nivel mundial pocos son los países que han desarrollado normas y leyes para su control entre ellos el Estado Mexicano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Academia Nacional de Ciencias. 2002. "Genetically Modified Pest-Protected Plants, Science and Regulation". National Academy Press, Washington, DC, USA.

Acero, J. y Canales, A. 2002. "Alimentos Transgénicos". Editorial ADN, México, D.F.

Aguirre, R. 2004. "La biotecnología agrícola en México. Efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad". Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F.

Alcalde, F. 1999. "Campa CB: resultados de los agricultores con el primer maíz resistente al taladro". Symposium Nacional de Sanidad Vegetal, Sevilla, España.

Altschul, S., Gish, W., Miller, W., Myers, E. y Lipman, D. 1990. Basic local alignment search tool. *J Mol Biol* **215**:403-410.

Altieri, M. y Rosset, P., 2001. La falsa panacea de la biotecnología. *Hayworth Press* **8**:11-20.

Alvarez-Buylla, E. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Ameziane, R., Bernhardt, K. y Lighfoot, D. 2000. Expression of the bacterial *Escherichia coli* glutamate dehydrogenase gene in tobacco and maize increased tolerance to the phosphinothricin herbicide. *Plant and Soil* **221**:45-57.

Apoteker, A. 2001. "Introducción a los Organismos Genéticamente Modificados". CECCAM, México, D.F.

Arnhold, E., Mora, F. y Deitos, A. 2006. Correlaciones genéticas en familias S4 de maíz (*Zea mays*). *Cien. Inv. Agr.* **33**(2):25-131.

Arnhold, E., Mora, F., Silva, R., Good-God, P. y Rudvalho, M. 2008. Evaluation of Top-cross popcorn hybrids using mixed linear model methodology. *Chilean Journal of Agricultural Research* **69**(1):46-53.

Athma, P., Grotewold, E. y Peterson, N. 1992. Insertional mutagenesis of the maize P gene by intragenic transposition of Ac. *Genetics* **131**: 199-209.

Bajaj, Y. 1991. Storage and cryopreservation of in vitro cultures. *Biotechnology in agriculture and forestry. High-tech and micropropagation*. Springer **17**:361-381.

Balbuena, D. 2002. Evidencias de flujo genético desde fuentes de maíz transgénico hacia variedades criollas. INE, CONABIO www.eluniversal.com.mx.

Barreda, A. 2000. Biopiratería en México: la punta del iceberg. CASIFOP/ETC Group www.etcgroup.org.

Beagle, J., Apgar, G., Jones, K., Griswold, K., Radcliffe, J., Qui, X., Lightfoot, D. y Iqbal, M. 2006. The digestive fate of *Escherichia Coli* glutamate dehydrogenase deoxyribonucleic acid from transgenic corn in diets fed to weanling pigs. *J. Anim Sci.* **84**:597-607.

Beck, U. 1998. "La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad". Editorial Paidós, Barcelona, España.

Benbrook, C. 2002. "¿Cuándo es rentable sembrar maíz Bt?". Idaho, Estados Unidos. biodiversidadla.org/documentos/documentos250.htm

Benz, B. 1986. "Taxonomy and evolution of Mexican maize". Editorial Madison, University of Wisconsin, USA.

Betrán, F., Ribaut, J., Beck, D. y González de León, D. 2003. Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and montress environments. *Crop Sci.* **43**:797-806.

Bewley, J. y Black, M. 1983. "Physiology and Biochemistry of Seeds. In Relation of Germination". Segunda edición, Editorial Plenum, New York, USA.

Blancas, L. 2001. Hybridization between rare and common plant relatives: implications for plant conservation genetics. *Nature* **16**:1967-1974.

Bohn, M., Kreps, R., Klein, D. y Melchinger, A. 1999. Damage and grain yield losses caused by European corn borer (*Lepidoptera: pyralidae*) in early maturing European maize hybrid. *Journal of Economic Entomology* **92**:723-731.

Bolivar, F. 2001. "Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: retos y oportunidades". Conacyt FCE. México, D.F.

Bolivar, F. 2002. "Biotecnología Moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI. Retos y oportunidades". Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Editorial Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

British Medical Association. 1999. "Biotechnology, Weapons and Humanity". Harwood Academic Publication, Londres, Inglaterra.

Bruce, M. 2002. Food Safety Evaluation of Crops Produced through Biotechnology. *Journal of the American Collage of Nutrition* **21**:166-173.

Cano, J. 2008. Los Organismos Modificados Genéticamente. Por que los países ricos les impiden a los países pobres acceder a la Biotecnología. *Ciencia* **11**:48.

Caplan, A., Herrera-Estrella, L., Inze, D., Van Haute, E., Van Montagu, M., Schell, J. y Zambryski, P. 1983. Introduction of genetic material into plant cells. *Science* **222**:815-821.

Casas, R., Chauvet, M. y Rodríguez, D. 1992. La Biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas. UAM-Azcapotzalco/ UNAM-IIIE-IIS **421**:424.

Castillo González, F. y Goodman, M. 1997. "Research on gene flow between improved maize and land races". CIMMYT, México, D.F.

Cattivelli, L., Lorenzetti, F. y Salamini, F. 1990. *Biotechnologie. Agricultura* **37**:60-79.

Charles, D. 2001. "Lord of the harvest. Biotech, big money and the future of good". Editorial Perseus Publishing, Cambridge, Massachusetts, USA.

Chrispeels, M. y Sadava, D. 1994. "Plant, genes and agriculture". Editorial Jones and Bartlett Publishers, Boston, USA.

Chrispeels, M. y Sadava, D. 2003. "Plants, Genes, and Crop Biotechnology". Segunda edición. Editorial Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, Massachusetts, USA.

Cocking, E. 1986. "The tissue culture revolution. L. Whithersy P. G. Anderson, Plant tissue culture and its agriculture application". Editorial Butterworths, Londres, Inglaterra.

COFEPRIS, Comision Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. www.ssa.gob.mx/unidades/dgcs/sala-noticias/comunicados/2002-07-19-118-PROTECCION-CONTRA-RIESGOS-SANITARIOS.htm.

Conner, J., Glare, T. y Nap, J. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. *The Plant Journal* **33**:19-46.

Covantes, L., Marielle, C. y Moncada, G. 2003. "No te dejes engañar". Colectivo Ecologista Jalisco, Greenpeace México, GEA, Organización Comercial Indígena, RAPAM y Red de Comunicación, Morelos, México.

Covantes, L. 2007. ¿Qué paso con la contaminación transgénica de maíces mexicanos? *La Jornada Ecológica*. Número Especial. www.jornada.unam.mx.

Covarrubias, A. 2004. "Ventajas y limitaciones de la biotecnología en la obtención de variedades resistentes a estrés ambiental". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Covarrubias, A. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Christou, P. 2002. No credible scientific evidence in presented to support claims that transgenic DNA was introgressed into traditional maize land races in Oaxaca, Mexico. *Transgenic Research* **11**:III-V.

Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. y Flores, G. 2006. "Invitación a la Biología". Sexta edición. Editorial Medica Panamericana, Madrid, España.

Dalton, R. 2001. Transgenic corn found growing in Mexico. *Nature* **413**:337.

Daniell, H., Streatfield, S. y Wycoff, K. 2001. Medical molecular farming: production of antibodies, biopharmaceuticals and edible vaccines in plants. *Trends Plant Sci.* **6**:219-226.

Daniell, H. 2002. Molecular Strategies for Gene Containment in Transgenic Crops. *Nature Biotechnology* **20**:585-586.

De Ita, A. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Delgado, G., 2000. La biodiversidad como materia prima del desarrollo de la biotecnología y la piratería del conocimiento indígena. La Jornada del Campo, suplemento de La Jornada **10**:6-7.

Demont, M., Tollens, E. 2004. First impact of biotechnology in the EU: Bt maize adoption in Spain. *Association of Applied Biologists* **195**:197-207.

DeWald, S. 1995. Information Systems for Biotechnology. NBIAP News Report www.isb.vt.edu.

Didier, M. y Brutus, H. 2007. El Maíz, patrimonio de la humanidad. *Análisis Económico* **XVII**:36.

Dill, G., Cajacob, C. y Padgett, P. 2008. Glyphosate-resistant crops: adoption, use and future considerations. *Pest Manag. Sci.* **64**:326-331.

Doebley, J. y Iltis, H. 1980. Taxonomy of *Zea* I: Subgeneric classification with key to taxa. *American J. Botany* **67**:986-993.

Doebley, J. 1990. Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. *Bio Science* **40**:443-448.

Ellstrand, N. 2001. When transgenes wander, should we worry? *Plant Physiology* **125**:1543-1545.

Estruch, J. 1997. Transgenic plants: An emerging approach to pest control. *Nature Biotechnology* **15**:137-141.

Etienne, J. 2000. "Bioquímica Genética. Biología Molecular". Sexta edición. Editorial Masson, París, Francia.

FAO, 1999. "Agricultura: Hacia el 2015/30". Estudio de las perspectivas Mundiales. Fao, Roma, Italia.

Fedak, G. 1992. "Hordecale (*H. vulgare* L. X *Secale Cereale* L.). Biotechnology in agricultura and forestry". Editorial Springer-Verlog, Berlin-Heidelberg, Alemania.

Federoff, N. y Botstein, D. 1992. "The Dynamic Genome: Barbara McClintock's Ideas in the Century of Genetics". Editorial Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York, USA.

Fernández-Anero, J., Novillo, C. y Costa, J. 1999. MaisGard protección contra taladros en toda la planta durante toda la campaña. Symposium Nacional de Sanidad Vegeta **6**:447-455.

Florescano, E. y Moreno, A. 1966. "Bibliografía del maíz en México". Editorial Biblioteca de la Facultad de Filosofía y Letras y Ciencias, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.

Ford, B. 2000. "The future of food". Editorial Thames y Hudson, New York, USA.

Franco, A., Wang, S., Melchinger, A. y Zeng, Z. 2008. Quantitative Trait Loci Mapping and The Genetic Basis of Heterosis in Maize and Rice. Genetics Society of America **180**:1707-1724.

Furst, P. y Nahmad, S. 1972. "Mitos y artes huicholes", Editorial Secretaría de Educación Pública, México, D.F.

Galindo, F. y Gálvez, A. 2001. "Percepción pública de la biotecnología". CONACYT, México, D.F.

Gálvez, A. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Giddings, V. 2002. Correspondencia con el editor. Nature Biotechnology **18**:1151-1155.

Gómez, T. 2000. "LOGTs llegaron ya... los organismos genéticamente transformados: Un asunto ambiental, político, social, ético y de salud". Editorial GEA, México, D.F.

González de la Vara, F. 1996. "La cocina mexicana a través de los siglos". Editorial Clío, México, D.F.

Goodman, M. 2004. Plant breeding requirements for applied molecular biology. *Crop Science* **44**:1913-1914.

Graham, G., Wolff, D. y Stuber, C. 1997. Characterization of a yield quantitative trait locus on chromosome five of maize by fine mapping. *Crop Sci.* **37**:1601-1610.

Green, J., Hale, T., Dagano, M., Andreassi, J. y Gutteridge, S. 2009. Reponse of 98140 Corn with *gat4621* and *hra* Transgenes to Glyphosate and ALS- Inhibiting Herbicides. *Weed Science* **57**:2142-148.

Gresshoff, P. 1997. "DNA markers". Editorial Wiley-Liss, USA.

Gutierrez, E. 1950. "Cultivo de maíz: instructivo para pruebas de nuevas semillas mejoradas y generalidades de su cultivo". Comisión Nacional del Maíz, México, D.F.

Gutierrez, N. 1997. Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS). User's guide for introducing genetically engineered plants and microorganisms. Technical Bulletin. www.aphis.usda.gov.

Haberer, G., Young, S., Bharti, A., Gundlach, H., Raymond, C., Fuks, G., Butler, E., Wing, R., Rounsley, S., Birren, B., Nusbaum, C., Mayer, K. y Messing, J. 2005. Structure and Architecture of the Maize Genome. *Plant Physiology* **139**:1612-1624.

Hails, R. 2000. Genetically modified plants, the debate continue. *Trends in Environmental Ecology* **15**:14-18.

Hancock, J. 1992. "Plant evolution and the origin of crop species". Editorial Prentice Hall, New Jersey, USA.

Hansen, W. 1999. Aplicaciones de la biotecnología en la agricultura. Recent advances in the transformation of plants. *Trends in Plant Science* **4**(6):226-230.

Heineke, C. 2002. "La vida en venta: transgénicos patentes y biodiversidad". Editorial Heinrich Böll, San Salvador, El Salvador.

Helmich, R., Oberhauser, K., Sears, M., Stanley-Horn, D. y Zangerl, A. 2001. Impact of Bt corn. *Proceedings of the National Academy Of Science* **5**:48-62.

Hernan, M., Checkoway, H., O'Brien, R., Costa-Mallen, P., DeVivo, I., Colditz, G., Hunter, D., Kelsey, K. y Ascherio, A. 2002. MAOB intron 13 and COMT codon 158 polymorphisms, cigarette smoking, and the risk. *Neurology* **14**:58-59.

Hernández, X. 1985. Maize and the greater Southwest. *Economic Botany* **39**:416-430.

Herrera, L. y Martínez M. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Hiei, Y., Ohta, S., Kamari, T. y Kumashiro, T. 1994. *Planta*. PNAS **6**:271-282.

Hirst, S. 1992. Biopatentes, un sentido de Orden. *Trends in Biotechnology* **10**:21.

Hu, Y., Georghiou, S., Kelleher, A. y Aroian, R. 2010. Bacillus thuringiensis Cry5B Protein Is Highly Efficacious as a Single-Dose Therapy against an Intestinal Roundworm Infection in Mice. *Plus Neglected Tropical Diseases* **4**:3.

Ilitis, H. 1987. "Maize evolution and agricultural origins". Grass systematics and evolution: An international symposium held at the Smithsonian Institution. Soderstrom **27**:195-213.

Ilitis, H. 2000. Homeotic sexual translocations and the origin of maize (*Zea mays*, *Poaceae*): A new look at an old problem. *Economic Botany* **54**:7-42.

Inzé, D., Follin, A., Van Onckelen, H., Rüdelsheim, P., Schell, J. y Van Montagu, M. 1987. The effect of mutations in the T-DNA encoded auxin pathway on the endogenous phytohormone content in cloned *Nicotiana tabacum* crown gall tissues. *Plant Cell Physiol.* **28**:475-484

James, C. 2005. Executive Summary, Brief 34. Global Status of Commercialized Biotech GM Crops. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application, www.isaaa.org.

Kaplinsky, N. 2002. Maize transgenic results in Mexico are artifacts. *Nature* **416**:601-602.

Kreuzer, H. y Massey, A. 2001. "ADN Recombinante y Biotecnología. Guía para estudiantes". Segunda edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Lambrecht, B. 2003. "La Guerra de los alimentos Transgénicos. ¿Quién decidirá lo que comamos a partir de ahora y que consecuencias tendrá para mí y para mis hijos?". Editorial Integral, Barcelona, España.

Landaverde, A. 1949. "El maíz y su cultivo en México". Editorial José C. Torres y Cía, México, D.F.

Lawrence, C., Harper, L., Schaeffer, M., Sen, T., Seigfried, T. y Campbell, D. 2008. Maize GDB: The Maize Model Organism Database for Basic, Translational and Applied Research. *International Journal of Plant Genomics* **351**:1-10.

Lee, E., Doerksen, T. y Kannenberg, L. 2003. Genetic components of yield Stability in maize breeding population. *Crop Sci.* **43**:2018-2027.

Levidow, L. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Levidow, L. 2009. Democratizing agr-biotechnology? European public participation in agbiotech assessment. *Comparative Sociology* **8**:541-564.

Lewin, B. 1994. "Genes". Segunda edición. Editorial Reverté, Barcelona, España,

Lightfoot, D., Mungur, R., Ameziane, R., Nolte, S., Long, L., Bernhard, K., Colter, A., Jones, K., Iqbal, M., Varsa, E. y Young, B. 2007. Improved drought tolerance of transgenic *Zea mays* plants that express the glutamate dehydrogenase gene (*gdhA*) of *E. coli*. *Springer Science* **156**:103-116.

Lippman, Z., Gendrel, A., Black, M., Vaughn, M. y Dedhia, N. 2004. Role of transposable elements in heterochromatin and epigenetic control. *Nature* **430**:471-476.

López-Munguía, A. 2000. "La biotecnología". Editorial Conaculta, Serie: Tercer Milenio, México, D.F.

López-Munguía, A. 2003. Sobre credos y maíz transgénico. ¿Como ves? *La Jornada* **50**:1.

Losey, J. 1999. Transgenic Pollen harms monarch larvae. *Nature* **399**:214.

- Louette, D. 1997. In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* **51**:20-38.
- Mangelsdorf, P., Macneish, R. y Gordon, W. 1964. Origins Agriculture in Middle America, en *Handbook of Middle American Indians. Natural Environment and Early cultures* **41**:342.
- Marielle, C. 2005. "¿Maíz transgénico? Riesgos para el ambiente, la salud y la soberanía alimentaria de México". Editorial GEA, México, D.F.
- Martínez-Soriano, J., Bailey, A., Lara, J. y Leal-Klevezas, P. 2002. Transgenes in Mexican Maize. *Nature Biotechnology* **20**:19.
- Massieu, Y. 2000. "Consecuencia de la biotecnología en México: el caso de los cultivos transgénicos". Departamento de Sociología, UAM-Azcapotzalco, México, D.F.
- Mendoza de Gyves, E. 1994. "Agrobiotecnología". Editorial Iberoamérica, México, D.F.
- Metz, M. y Fütterer, J. 2002. Suspect evidence of transgenic contamination. *Nature* **416**:600-601.
- Miranda, R. 2001. Un pariente silvestre del maíz como alternativa de forraje. *Scientific CUCBA* **3**:18-31.
- Mora, F. y Scapim, C. 2007. Predicción de valores genéticos del efecto de poblaciones de maíz evaluadas en Brasil y Paraguay. *Agric. Tec.* **67**:139-146.
- Muller, H. y Tobin, G. 1986. "Nutrición y ciencia de los alimentos". Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Muñoz, A. 2001. En México, los estudios genéticos se hacen con ratones". *La Jornada*, **33**:1-8.
- Muñoz, J. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.
- National Academy of Sciences. 2002. "Environmental effects of transgenic plants". National Academy Press, Washington, DC, USA.

Nieto, J. 1999. Plantas transgénicas. Investigación y ciencia. Prensa Científica **268**:70-80.

Nossal, G. 1997. "Los límites de la manipulación genética. Exposición de los temas clave en ingeniería genética y de las exploraciones científicas en los confines de la vida". Segunda edición. Editorial Gedisa, Barcelona, España.

Novás, A. 2005. "El hambre en el mundo y los alimentos transgénicos". Editorial Catarata, Madrid, España.

Olivé, L. 2003. Los objetos biotecnológicos: concepciones filosóficas y consecuencia para su evaluación (Organización Mundial de la Salud). Número especial sobre Biotecnología y Ética **1**:9-19.

Padilla, J. y López-Munguía, A. 2002. "Alimentos transgénicos". Editorial ADN Conaculta, México, D.F.

Pascual, J. 1996. "El Arca de la Biodiversidad (especies, genes y ecosistemas)". Editorial Celeste, Madrid, España.

Passarge, E. 2000. "Genética. Texto y Atlas". Segunda edición. Editorial Médica Panamericana, México, D.F.

Pengue, W. 2000. "Cultivos transgénicos. ¿Hacia dónde vamos? Algunos efectos sobre el ambiente, la sociedad y la economía de la nueva recombinación tecnológica". Editorial UNESCO, Buenos Aires, Argentina.

Pierce, B. 2006. "Genética. Un enfoque conceptual". Segunda edición. Editorial Médica Panamericana, Madrid, España.

Pingali, P. 2001. World maize facts and trends. Meeting world maize needs: technological opportunities and priorities for the public sector. CIMMYT World Maize Facts and Trends **25**:60.

Poehlman, J. 1987. "Techniques in breeding field crops. Breeding field crops". Tercera edición. Editorial AVI Publishing Company, Connecticut, USA.

Poehlman, J. 1992. "Mejoramiento Genético de las cosechas". Editorial Limusa, México. D.F.

Pridmore, R. 2000. Genomics review of commercialized transgenic crops. International Service for to Acquisition of Agri-biotech Applications ISAAA www.isaaa.org.

Pswarayi, A. y Vivek, B. 2007. Combining ability amongst CIMMYT's early maturing maize (*Zea mays* L.) germplasm under stress and non-stress conditions and identification of testers. Springer Science Business **162**:353-362.

Quist, D. y Chapela, I. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize land races in Oaxaca. Nature **414**:541-543.

Rawlings, J. y Thompson, D. 1962. Performance level as criterion for the choice of maize testers. Crop Sci. **2**:217-220.

Reyes, P. 1990. "El maíz y su cultivo". Editorial AGT, México, D.F.

Ribeiro, S. 2000. "Fauto Biotecnológico". La Jornada www.jornada.unam.mx.

Ribeiro, S. 2002. "Embarazos transgénicos. Disminuyen partos de animales alimentados con maíz transgénico". La Jornada, www.jornada.unam.mx.

Ribeiro, S. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Riechmann, J. 2004. "Transgénicos: el haz y el envés. Una perspectiva crítica". Editorial Catarata, Madrid, España.

Rius, E. 2008. "La basura que comemos. Transgénicos y comida chatarra". Editorial Grijalbo, México, D.F.

Robin, M. 2008. "El mundo según Monsanto. De la dioxina a los OGM. Una multinacional que les desea lo mejor". Editorial Península, Francia.

Robbins, M., Sekhon, R., Meeley, R. y Chopra, S. 2008. A *Mutator* Transposon Insertion Is Associated With Ectopic Expression of a Tandemly Repeated Multicopy *Myb* Gene pericarp color 1 of Maize. Genetic Society of America **178**:1859-1874.

Rodríguez, S. 2000. "Biodiversidad y los Derechos de Protección Vegetal". Biodiversidad, sustento y culturas www.grain.org.

Rubio, J. 2004. "Alimentos Transgénicos. Ciencia, Ambiente y Mercado: Un debate abierto". Editorial Siglo XXI, México, D.F.

Sánchez, G. y Ordáz, L. 1987. "Teosinte in Mexico Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools" Editorial IBPGR, Roma, Italia.

Sánchez, G. y Ruiz, J. 1996. Distribución del teosinte en México. Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teosinte: implicaciones para el maíz transgénico. CIMMYT **8**:20-38.

Sánchez-Velásquez, L. 2001. "Biodiversidad, maíces y teosintes: ¿Para la cocina y bolsillo de quien?". Editorial Ciencia y el Hombre, México, D.F.

Sarcevic, H., Pejic, I., Baric, M. y Kozumplik, V. 2007. Originality of M3S maize population and changes in allele frequencies revealed by SSR markers after two cycles of selfed progeny recurrent selection. Springer Science Business **161**:97-105.

Saxena, D. Y Stotzky, G. 2001. Bt corn has a higher lignin content than non Bt corn. American Journal of Botany **18**:187-222.

Scapim, C., Oliveira, A., Braccini, C., Cruz, C., Andrade, C. y Vidigal, M. 2000. Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binnis and Huehn models. Genet. Mol. Biol. **23**:387-393.

Schoof, H., Ernst, R., Nazarov, V., Pfeifer, L., Mewes, H. y Mayer, K. 2004. *Arabidopsis thaliana* Database (MAfDB): an integrated biological knowledge resource for plant genomics. Nucleic Acids Res **32**:373-376.

Sears, M. y Shelton, A. 2001. The monarch butterfly controversy: scientific interpretations of a phenomenon. The Plant Journal **27**(6):483-488.

Serratos, J., Willcox, C. y Castillo, G. 1997. "Gene flow among Maize Landraces, Improved Maize Varieties and Teosinte: Implications for Transgenic Maize". CIMMYT, México, D.F.

- Singer, M. 1993. "Genes y Genomas". Editorial Omega, Barcelona, España.
- Smith, A., 1993. La Riqueza de la Naciones, The Age of Uncertainty II:264.
- Solis, F. 1998. "La cultura del maíz". Editorial Clío, México, D.F.
- Solleiro, J. y Briseño, A. 2003. Propiedad intelectual 1: Impacto en la difusión de la biotecnología. *Interciencia* **28**(2):118-123.
- Soto, P., Jahn, E. y Arredondo, S. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. *Agric. Tec.* **64**:156-162.
- Spofford, J. 1961. Parental control of position-effect variegation. II. Effect of sex of parent contributing white-mottled rearrangement in *Drosophila melanogaster*. *Genetics* **46**:1151-1167.
- Steinsleger, J. 2000. "Imperialismo farmacéutico". La Jornada www.jornada.unam.mx
- Stotzky, G. 2002. "Release, persistence and biological activity in soil of insecticidal proteins from *Bacillus Thuringiensis*. Genetically engineered organisms: assessing environmental and human health effects". Editorial CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA.
- Stueber, K. 2007. "*Zea Mays*". *American Journal Botany* **52**:13-20.
- Suarez, M. 1989. "Orígenes y repercusiones sociales de la ingeniería Genética". Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Sugiura, Y. y González, F. 1996. "La cocina mexicana a través de los siglos". Editorial Clío, México, D.F.
- Tenaillon, M. 2001. Patterns of DNA sequence polymorphism along chromosome 1 of maize (*Zea mays* ssp. *mays* L.). *Proc. Natl. Acad. Sci.* **98**:9161-9166.
- The CIMMYT. Maize Program and Transgenic Maize. www.cimmyt.org

Toledo, V. 2004. La ciencia como dogma: corporaciones, transgénicos y biotecnología. La Jornada. www.jornada.unam.mx.

Trueba, I. y Alfonso, A. 2004. "Agricultura y Seguridad Alimentaria Mundial durante la segunda mitad del siglo XX". Universidad Politécnica de Madrid, España.

Trueba, I. 2006. "El fin del hambre en 2025. Un desafío para nuestra generación". Editorial Grupo Mundi-Prensa, Madrid, España.

Tuzun, S. Rao, M., Vogeli, U., Schardl, S. y Kuc', J. 1989. Induced systemic resistance to blue mold: early induction and accumulation of β -1,3-gluconases, chitinases and other pathogenesis-related proteins (b-proteins) in immunized tobacco. *Phytopathology Society* **79**:979-983.

USDA. 2005. Grain World Market & Trade.

Velasco, B., Carrión, F., Gandía, A., García, L., Mayordomo, M. y Ruiz, O. 2003. "De la Biotecnología a la Clonación, ¿Esperanza o Amenaza? Editorial Dialogo, Valencia, España.

Verger, T. 2004. "El sutil poder de las transnacionales". Colección Contra Argumentos de Icaria, Barcelona, España.

Wang, R., Stec, A., Hey, J., Luckens, L. y Doebley, J. 1999. The limits of selection during maize domestication. *Nature* **398**:236-239.

Welhausen, E. Roberts, L., Roberts, J. y Hernández, X. 1952. "Races of maize in México: their origin, characteristics, and distribution". The Bussey Institution, Harvard University, USA.

Wheelwright, J. 2001. No vuelva a comer hasta que no haya leído esto. *Discover en español: un mundo de ciencia y Tecnología* **5**(4):24-33

Wilkes, H. 1972. Maize and its wild relatives. *Science* **177**:1071-1077.

Wilkes, H. 1977. Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Economic Botany* **31**:254-293.

Wilkes, H. 1996. "El teosinte en México: panorama retrospectivo y análisis personal. Flujo genético entre maíz criollo, maíz personal y teosinte: implicaciones para el maíz transgénico". CIMMYT, México, D.F.

Wilson, E. 2002. "The Bottleneck". Scientific American Magazine **14**:1-8.

Wood, M., Chuck, G. y Tobias, C. 2008. Corngrass. Youthful plant harbors prized genes. Agricultural Research **1**:18.

Woodburn, A. 2002. Agrow World Crop Protection News. Grupo ETC
www.etcgroup.org

Ye, X. 2000. Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. Science Magazine **287**:303-305.

Zhao, B., Lin, X., Poland, J., Trick, H., Leach, J. y Hulbert, S. 2005. A maize resistance gene functions against bacterial streak disease in rice. PNAS **102**:15383-15388.

Zuska, J., Sedlackova, J. y Prihoda, J. 1986. Radiation disinfestation of wheat flour leaving the mill: Flour quality and economic aspects. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation **28**:549-553.

www.bcr.com.ar

www.bio.davidson.edu

www.biodiv.org/biosafety/protocol.asp. Protocolo de bioseguridad en CBD.

www.botanical-online.com/maizpropiedades.

www.cambiodemichoacan.com.mx/vernota.php

www.cibiogem.gob.mx. Cibiogem, proyecto GEF-México para la Creación de Capacidad de Bioseguridad.

www.cimmyt.org.

www.curiosidadesdelamicrobiología.blogspot.com

www.etcgroup.org

www.fao.org

www.floridata.com

www.foroendefensadelmaiz.galeon.com

www.fyo.com/granos/ampliar.asp

www.gastronomiaycia.com

www.greenpeace.org.

www.iespalomeras.net/.../imagenes-web/dibujos/

www.isaaa.org. International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications.

www.mejoravegetal.criba.edu.ar/.../germina.

www.monsanto.com.mx

www.nationalgeografic.com

www.organicamente.com

www.qfb.umich.mx/origmaiz.htm

www.semillasdevida.org.mx

www.slfruitnveg.com.au

www.syngenta.com.mx

GLOSARIO

Acame. Es una de las principales causas de pérdidas de rendimiento debido a las dificultades que ocasionan la caída de las plantas al momento de realizar la cosecha mecánica.

Alelo. Uno de los dos variantes de un gen.

Aleurona. Es el conjunto de gránulos proteicos presentes en las semillas de cereales, generalmente localizados en la parte externa del endospermo. Su etimología proviene de la palabra griega *aleuron* que significa harina.

Alogamia. Tipo de reproducción sexual en plantas consistente en la polinización cruzada y fecundación entre individuos genéticamente diferentes. Este tipo de reproducción favorece la producción de individuos genéticamente nuevos y, por ende, la generación constante de variabilidad genética en las poblaciones.

Angiospermas. (del latín *angi-*, encerrada, y del griego *sperma*, semilla). Nombre común de la división o filo que contienen las plantas con flor, que constituyen la forma de vida vegetal dominante. Plantas que tienen los óvulos encerrados en una cavidad denominada ovario. Cuando se produce la fecundación, el óvulo madura y se transforma en el fruto.

Antocianinas. Moléculas que sirven para proteger a las plantas del estrés oxidativo y para proporcionarles color.

Bacteriófagos. (también llamados fagos del griego φαγετον (*phageton*), alimento/ingestión) son virus que infectan exclusivamente a bacterias. Están constituidos por una cubierta proteica o cápside en cuyo interior está contenido su material genético, que puede ser DNA o RNA de simple o doble cadena, circular o lineal (en el 95 % de los fagos conocidos es DNA de doble cadena), de 5,000 a 500,000 pares de bases. El tamaño de los fagos oscila entre 20 y 200 nm aproximadamente. Se encuentran en diversas poblaciones de bacterias, tanto en el suelo como en la flora intestinal de los animales.

Bioprospección. Búsqueda sistemática, clasificación e investigación para fines comerciales u holísticos de nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas, microorganismos y otros productos con valor económico actual o potencial, que forman parte de la biodiversidad.

Biopiratería. Es la explotación, manipulación, exportación y/o comercialización internacional de recursos biológicos que contrarían las normas de la Convención sobre Diversidad Biológica, de 1992. Es un tipo de piratería moderna. No es sólo el contrabando de diversas formas de vida de la flora y fauna, pero principalmente, la apropiación y monopolización de los conocimientos de las poblaciones tradicionales en lo que se refiere al uso de los recursos naturales.

Cáliz. Verticilo más externo de una flor, constituido por el conjunto de los sépalos.

Dextrinas. Carbohidratos con un peso molecular intermedio entre el de la glucosa y el almidón. Las dextrinas comúnmente se encuentran donde existe síntesis o catabolismo de almidón. Las dextrinas son solubles en agua y generalmente tienen sabor dulce.

Diploides. Células que tienen un número doble de cromosomas, a diferencia de un gameto, es decir, poseen dos series de cromosomas.

Drosophila melanogaster. (literalmente "amante del rocío de vientre negro"), también llamada mosca del vinagre o mosca de la fruta, es un insecto díptero (dos alas).

Elote. Del náhuatl *elotl* significa mazorca tierna.

Endogamia. En biología se refiere al cruzamiento entre individuos de una misma raza dentro de una población aislada tanto geográficamente como genéticamente.

Endonucleasa de restricción. Es una enzima que puede reconocer una secuencia característica de nucleótidos dentro de una molécula de DNA y cortar el DNA en ese punto en concreto, llamado sitio o diana de restricción, o en un sitio no muy lejano a éste, dependiendo de la enzima. Los sitios de restricción cuentan con entre 4 y 12 pares de bases, con las que son reconocidos.

Endospermo. Es el tejido nutricional formado en el saco embrionario de las plantas con semilla; es triploide (con tres juegos de cromosomas) y puede ser usado como fuente de nutrientes por el embrión durante la germinación. Está conformado por células muy apretadas y gránulos de almidón incrustados en una matriz, gran parte de éste es proteína.

Escisión o fragmentación. Método de división asexual animal. El padre se divide en dos partes y casi siempre los individuos originados son idénticos al padre.

Exones. Regiones de un gen que no son separadas del RNA maduro y que contienen la información para producir la proteína codificada en el gen. En estos casos, cada exón codifica una porción específica de la proteína completa, de manera que el conjunto de exones forma la región codificante del gen.

Fotosintatos. Productos de fotosíntesis.

Genotipo. Es el contenido genético (el genoma específico) de un individuo, en forma de DNA.

Germoplasma. Conjunto de genes que se transmite en la reproducción a la descendencia por medio de gametos o células reproductoras.

Heterocigotos. Los que tienen diferentes alelos en un locus.

Homocigotos. Células diploides y poliploides cuyos cromosomas tienen el mismo alelo en algún locus.

Intravarietal. Heterogeneidad en el comportamiento agronómico así como en rasgos morfológicos, entre clones pertenecientes a una misma variedad.

Intrón. Región del DNA que debe ser eliminada del transcrito primario de RNA; a diferencia de los exones que son regiones que codifican para una determinada proteína. Los intrones son comunes en todos los tipos de RNA eucariotas, especialmente en los RNA mensajeros (RNAm), además pueden encontrarse en algunos RNAt y RNAr de procariontes.

Jilote. Maíz tierno con barbas.

Locus. (del latín *locus*, lugar; plural *loci*) es una posición fija sobre un cromosoma, como la posición de un gen o de un biomarcador (marcador genético). La lista ordenada de loci conocidos para un genoma particular se denomina mapa genético, mientras que se denomina cartografía genética al proceso de determinación del locus de un determinado carácter biológico.

Monoica. Las especies en que ambos sexos se presentan en una misma planta.

Motto. Es un 'lema' (del italiano): una frase o una lista corta de palabras que formalmente describen la motivación o la intención general de una entidad, de un

grupo social, o de una organización. Muchos países, ciudades, universidades, y otras instituciones tienen lemas, al igual que ciertas familias célebres.

Olote. Raspa o elote desgranado.

Panoja. Conjunto de espigas o racimos que nacen de un mismo tallo y que se ramifican a su vez en nuevos racimos, la mazorca del maíz es una panoja.

PCR. Técnica de reacción en cadena de la Polimerasa (Kary Mullis, Abril de 1983), es una técnica para la síntesis *in vitro* de secuencias específicas de DNA con la cual la insuficiente cantidad de DNA ya no es un problema en los procedimientos de Biología Molecular ni en los procedimientos de diagnóstico basados en el estudio de DNA.

Pelagra. Enfermedad causada por una dieta deficiente o insuficiencia del organismo para absorber la niacina o el aminoácido triptófano.

Plásmido. Molécula circular de DNA que constituye material genético adicional al cromosoma bacteriano. Los plásmidos son las herramientas principales para insertar nueva información genética en microorganismos o plantas.

Rastrojo. Comprende las hojas y tallos de plantas que permanecen una vez terminado el crecimiento vegetativo y después de haber cosechado las semillas o frutos maduros.

Revertiente. Se define como una cepa en la cual se restaura el fenotipo de la cepa salvaje que se había perdido en el mutante.

Southern Blotting. Método para transferir fragmentos de DNA a un filtro de nitrocelulosa o nylon. Estos fragmentos han sido previamente separados por electroforesis y luego desnaturalizados en gel.

Taína. Arahuacos taínos fue una oleada de indígenas procedentes del área de lo que ahora es Venezuela, que a lo largo de los siglos fueron poblando las distintas islas del arco antillano. El nombre taíno significa bueno o noble en arahuaco.

Terminator. Tecnología que se refiere a las plantas que son diseñadas genéticamente para producir semillas estériles.

Transposasa. Es una enzima que se une a los extremos de un transposón y cataliza el movimiento del transposón a otra parte del genoma de un mecanismo para cortar y pegar o de un mecanismo de transposición replicativa.

Transposón. Elemento genético móvil que puede moverse de una ubicación en un plásmido o cromosoma hacia otra localización.

Vectores. Son pequeños DNA en los que se inserta el fragmento de DNA que quiere estudiarse. Estos pequeños DNA son, generalmente bacteriófagos o plásmidos. Presentan en su genoma las señales necesarias para su replicación, pero no pueden replicarse por sí solos. Necesitan ser introducidos en células huéspedes como bacterias.

Zeína. Proteína que se obtiene del maíz.