

Agricultura Transgénica¹

JUAN-RAMÓN LACADENA

Académico de Número de la Real Academia de Farmacia

1. MEJORA GENÉTICA DE PLANTAS

Los orígenes de la Genética están íntimamente relacionados con la investigación de los hibridistas experimentales de plantas. Como dijo Bateson como presidente de la Conference on Hybridization and Plant Breeding (Londres, 1906) cuyos resúmenes fueron publicados como Third International Conference on Genetics, la actividad de los hibridistas y mejoradores de plantas había dejado de ser un “misterio” para dar lugar a una nueva ciencia para la que él mismo propuso el nombre de **Genética**. A partir del redescubrimiento de las leyes de Mendel en 1900, la aplicación de los conocimientos genéticos impulsó el desarrollo de la Mejora.

En un sentido amplio, podría decirse que la **Mejora de Plantas** se remonta a los tiempos más antiguos mediante la aplicación intuitiva de procesos de selección. Así, se puede citar como ejemplo concreto el caso del descubrimiento hecho en la “Cueva de los murciélagos” de Méjico donde se encontraron restos de mazorcas de maíz correspondientes a estratos geológicos sucesivos que mostraban un aumento gradual de tamaño correlativo con la sucesión cronológica. Estos hechos indican sin duda alguna que el hombre del Neolítico, haciendo uso de su inteligencia racional, aplicaba ya un proceso de selección en el maíz que cultivaba.

La **Mejora Genética de Plantas** tiene como fin obtener los genotipos (constitución genética) que produzcan los fenotipos (manifestación externa de los caracteres) que mejor se adapten a las necesidades del

¹ El presente trabajo está basado en otros previos del autor (Lacadena, 1997, 1998, 2000 a, 2000 b, 2001)

hombre en unas circunstancias determinadas. Aspectos parciales de ese objetivo final son:

- **Aumentar el rendimiento:**
 - *Mejora de productividad*, aumentando la capacidad productiva potencial de los individuos
 - *Mejora de resistencia*, obteniendo genotipos resistentes a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas
 - *Mejora de características agronómicas*, obteniendo nuevos genotipos que se adaptan mejor a las exigencias y aplicación de la mecanización de la agricultura.
- **Aumentar la calidad:**
 - *Mejora de calidad*, atendiendo, por ejemplo, al valor nutritivo de los productos vegetales obtenidos
- **Extender el área de explotación**, adaptando las variedades de las especies ya cultivadas a nuevas zonas geográficas con características climáticas o edafológicas extremas
- **Domesticar nuevas especies**, transformando las especies silvestres en cultivadas con utilidad y rentabilidad para el hombre.

Los métodos convencionales de la Mejora Vegetal han sido los cruzamientos y la selección complementados en ocasiones con técnicas citogenéticas y de mutagénesis artificial. Sin embargo, mediada la década de los ochenta se inició la aplicación de la *ingeniería genética molecular* en la Mejora mediante la utilización de *plantas transgénicas*, que se hicieron una realidad a escala comercial a partir de la mitad de la década de los noventa: es la **Agricultura transgénica**.

2. LA REVOLUCIÓN VERDE

Se puede decir que Malthus se quedó corto cuando predijo la catástrofe para la humanidad porque estimó que la población humana crecería según una progresión geométrica mientras que los alimentos lo harían en

progresión aritmética, siendo así que la demografía humana ha crecido a un ritmo más exponencial que geométrico. En este contexto es importante resaltar que los 6.000 millones de habitantes de la tierra del año 2000 se transformarán en 9.000 millones en el año 2050, de los que un 90 % habitarán en Asia, África y América Latina. Sin embargo, las malas predicciones de Malthus no se cumplieron, entre otras causas, por el incremento de las producciones agrícolas gracias, por una lado, a los avances tecnológicos y, por otro lado, a la aplicación de los conocimientos genéticos a la obtención de variedades cultivadas más productivas (Mejora Genética de Plantas). Un magnífico ejemplo de esto último es la denominada “Revolución Verde” llevada a cabo por Norman E. Borlaug, mejorador de plantas y Premio Nobel de la Paz en 1970, que salvó del hambre a las poblaciones humanas en muchas zonas de la tierra.

Como no es éste el lugar de extendernos en detallar en qué consistió la Revolución Verde, sin embargo, puede ser suficiente incluir los siguientes datos²:

La revolución verde: aspectos positivos

- Importantes incrementos en la producción de cultivos básicos
 - En poco más de una década se pasó en Méjico de un rendimiento en el cultivo de trigo de 750 Kg/Ha a 9.000 Kg/Ha
 - Las variedades de arroz obtenidas en el IRRI duplicaron la producción en países como la India, Filipinas y Pakistán
 - En sólo cuatro años (1965-1969), la superficie cultivada con las nuevas variedades de trigo y arroz llegó a alcanzar los 15 millones de hectáreas
 - En el período 1961-1981, la India triplicó su producción anual de trigo
 - En 1967 Pakistán ocupaba el segundo lugar entre los países receptores de ayuda alimentaria externa; dos años más tarde Pakistán era un país exportador de arroz

² Datos cedidos por el Prof. Vicente Moreno, IBMCP, C.S.I.C. - UP Valencia, y presentados en el *Simposio Internacional “Un Siglo de Genética (1900-2000)”*, Fundación Ramón Areces, Madrid, 21-22 marzo 2000

- En el período 1963-1983, China consiguió aumentos en el rendimiento medio del arroz de 2 a 5 Tn/Ha y el del trigo de 1 a 2,5 Tn/Ha
- 800 millones de personas sufren actualmente hambre o escasez de alimentos, pero sin la ayuda de la Revolución Verde esta cifra habría alcanzado los 2.000 millones
- Desde 1970 los precios de los alimentos básicos han disminuido en torno al 70%

No obstante, persisten algunos problemas tras la Revolución Verde, como son:

Problemas pendientes tras la revolución verde

- 800 millones de personas, sobre todo mujeres y niños, consumen menos de 2.000 cal/día
- 180 millones de niños tienen problemas graves relacionados con la falta de alimentos
- 100 millones de niños tienen una grave deficiencia en vitamina A (problemas relacionados con la vista, piel, mucosas y sistema inmune)
- 400 millones de mujeres (15-49 años) tienen deficiencia en hierro (la anemia es la causa del 20% de los abortos o muerte prematura en Asia y Africa)

Teniendo en cuenta los rendimientos actuales y el aumento de población, si no se hace nada en los próximos años la cifra de personas hambrientas en el tercer mundo puede ser escalofriante. Se ha estimado que en el año 2020 habrá una cifra adicional de 1.500 millones de personas con hambre en el mundo.

Esta estimación pesimista plantea los **objetivos que la Mejora de Plantas** debe abordar **en el futuro**, tal como se indica a continuación:

- **Países no desarrollados**
 - Variedades adaptadas a las características de cada zona y con una productividad que se ajuste a la demanda de alimentos por parte de la población

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

- Las nuevas variedades deben suministrarse a coste cero o casi simbólico
- **Países desarrollados**
 - Mejora “a la carta”
 - Rapidez en obtención de resultados
- **Medios técnicos**
 - Nuevos desarrollos en el campo de la Biotecnología
 - Integración de métodos clásicos (Mejora convencional) y biotecnológicos (Ingeniería genética molecular: Planta transgénicas, Agricultura transgénica)
- **Medio ambiente**
 - El desarrollo de nuevas variedades tiene que tener en cuenta:
 - La escasez de agua
 - La salinización de las tierras de cultivo (especialmente en zonas con regadío)
 - Mejora sostenible
 - Recursos fitogenéticos
 - Variedades autóctonas
 - Preservación y aprovechamiento de las fuentes de variación intra- y extraespecífica
- **Condición social**
 - Compatibilizar los intereses de los sectores público y privado (objetivos, protección, registro y patentes)
 - Concentración de poder en pocas manos

La cuestión que se plantea es cuál será el papel de la Agricultura transgénica en la solución de los problemas pendientes indicados.

3. PLANTAS TRANSGÉNICAS

La transmisión de la información genética en los organismos superiores se produce normalmente de padres a hijos vía reproducción sexual (*transmisión vertical*), sin embargo la **trangénesis** permite la *transmisión horizontal* de la información genética ya sea mediante técnicas de microinyección del ADN, utilización de vectores virales, bombardeo de células con microproyectiles portadores de ADN, etc. Los genes (*transgenes*) que se transmiten por estas técnicas pueden proceder de la misma o de distinta especie o, incluso, reino biológico; sin embargo, muchas veces se restringe el término de transgénico a aquellos individuos que han incorporado en sus genomas genes de otras especies mediante técnicas de transmisión horizontal.

La utilización de plantas transgénicas en programas de Mejora se va incrementando de día en día. En un principio, algunos expertos habían llegado incluso a predecir que hacia el año 2005 el 25% de la producción agrícola en Europa lo sería de plantas transgénicas. Hoy, sin embargo, ante el rechazo social promovido por importantes grupos de presión es impredecible hacer una estimación tan a corto plazo. En la guerra incruenta de los cultivos transgénicos, la primera batalla la ganaron –podría decirse que por sorpresa– las grandes compañías multinacionales productoras de las plantas transgénicas, pero la segunda batalla se ha inclinado de parte de los grupos de presión ecologistas y algunas ONGs (The Ecologist, 1998; Riechmann, 1999, 2000). ¿Cuál será el resultado final de la guerra de los transgénicos? Yo creo que, aunque con cierto retraso, finalmente se impondrá la cordura por ambos bandos y que, con las debidas precauciones tomadas caso por caso, las plantas y los alimentos transgénicos se aceptarán como una realidad más del avance biotecnológico para beneficio de la humanidad. Los datos que se presentan más adelante parecen indicar claramente el avance y consolidación de los cultivos transgénicos en especies como la soja, el maíz, el algodón y la colza.

Como se mencionaba anteriormente, en los programas de Mejora de Plantas interesa en ocasiones incorporar un gen determinado a una cierta variedad para dotarla, por ejemplo, de resistencia a un patógeno o darle cierta calidad. El método convencional consiste en realizar un primer cru-

zamiento con un individuo que lleve el gen deseado y luego, mediante un proceso continuado durante varias generaciones de cruzamientos con individuos del genotipo original (*retrocruzamiento*) y selección para el carácter (gen) que se quiere introducir, se puede llegar a obtener, tras un proceso más o menos largo, individuos con el genotipo original al que se ha añadido el gen deseado. Este método convencional tiene varios inconvenientes como son las muchas generaciones necesarias y en ocasiones la limitación que supone la reproducción sexual cuando lo que interesa es introducir el gen de otra especie, ¡y con más razón si esta otra especie ni siquiera pertenece al reino vegetal sino que se trata de una especie bacteriana o animal!

4. LA INGENIERÍA GENÉTICA MOLECULAR EN LA MEJORA DE PLANTAS

Las técnicas de ingeniería genética molecular suponen un método alternativo de incorporación de un gen deseado en el genoma de una planta mediante la obtención de plantas transgénicas. No obstante, no debe olvidarse que, una vez introducido el gen deseado, los procesos de selección son similares a los empleados en los métodos convencionales de la Mejora.

La *transgénesis* o *transferencia génica horizontal* en plantas se puede realizar utilizando el *ADN-T* (transferible) del plásmido *Ti* (inductor de transformación) de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* que produce los tumores o “agallas” en las heridas que se originan en las plantas. En el proceso de infección, el ADN-T tiene la propiedad de poder pasar de la célula bacteriana a las células de las plantas, incorporándose al ADN de los cromosomas de éstas. Dicho de forma muy esquemática, la manipulación genética en este caso consiste en incorporar al ADN-T el gen que se desee introducir en la planta. La mayor eficacia de la técnica se consigue utilizando cultivos celulares de hoja o de tallo que son capaces de regenerar plantas adultas completas a partir de células que han sido genéticamente modificadas (transformadas) usando como vector el ADN-T.

Otras técnicas de transferencia de genes consisten en la introducción del ADN en *protoplastos* (células desprovistas de la pared celulósica por medios enzimáticos o químicos) utilizando el polietilenglicol o la *electroporación*. También se puede introducir el ADN en las células por bombardeo con *microproyectiles* (*biobalística*) formados por partículas de oro o tungsteno recubiertas con ADN del gen deseado. En cualquier caso, después se induce la regeneración de la planta adulta a partir de los *protoplastos* o de las células tratadas (ver Carbonero, 1997). En el Cuadro adjunto se indican algunas de las realizaciones obtenidas:

Especies de plantas cultivadas transgénicas (Fuente: *Investigación y Ciencia*, enero, 1999)

Especie	Método de transformación	Especie	Método de transformación
Alamo	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Biobalística	Kiwi	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
		Lechuga	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Albaricoque	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Lino	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Alerce	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Maíz	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Biobalística Electroporación
Alfalfa	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>		
Algodón	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>		
Apio	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Manzana	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Arándano	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Biobalística	Melocotón	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
		Melón	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Arroz	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Biobalística Electroporación Microinyección	Mostaza	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
		Papaya	Biobalística
		Patata	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
		Pepino	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Brócoli	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Petunia	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
		Rábano	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

Canola (colza)	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Electroporación	Remolacha	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
	Microinyección	Soja	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Biobalística
Caña azúcar	Biobalística		
Cítricos	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Polietilenglicol	Tabaco	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Biobalística Electroporación Polietilenglicol Ultrasonicación
Clavel	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>		
Crisantemo	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>		
Espárrago	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Trébol blanco	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Frambuesa	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>		
Fresa	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Electroporación	Trigo	Biobalística
Girasol	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Trigo sarraceno	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Guisante	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>		
Hinojo	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Zanahoria	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>

Con las técnicas mencionadas (especialmente utilizando el ADN-T del plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens*) se han obtenido plantas resistentes a virus, a insectos, a herbicidas, etc. Por ejemplo, desde hace más de treinta años se viene utilizando en agricultura y jardinería un insecticida especialmente eficaz contra las larvas de los lepidópteros cuya eficacia reside en la proteína *Bt* producida por la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Pues bien, la ingeniería genética molecular ha permitido identificar y aislar el gen bacteriano que codifica para la proteína *Bt* y se ha logrado transferirlo a plantas transgénicas de algodón, patata, tomate y maíz, haciéndolas resistentes a los insectos.

Otro caso interesante ha sido la obtención de plantas transgénicas de soja, algodón, maíz, colza, etc. a las que se les ha incorporado un gen

que produce la tolerancia al principio activo (por ejemplo, el glifosato) de los herbicidas de amplio espectro, lo cual permite eliminar las malas hierbas de especies de hoja ancha y crecimiento cespitoso tratando los campos con herbicidas que no dañan al cultivo.

Dentro de un programa de *Mejora de calidad* cabe mencionar que se han obtenido plantas transgénicas de arroz capaces de sintetizar β caroteno precursor de la vitamina A (Ye *et al.*, 2000). Como se decía en un lugar anterior, este último avance científico puede ser de gran importancia para solucionar problemas sanitarios en aquellas zonas donde el arroz es la fuente principal de alimentación: al menos 26 países de Asia, África y América Latina donde viven grandes masas de población.

Por último, podrían citarse también las plantas transgénicas utilizadas como biorreactores para producir lípidos, hidratos de carbono, polipéptidos farmacéuticos o enzimas industriales (ver el número especial dedicado a estos temas por la revista *Trends in Biotechnology*, “Plant-product and crop biotechnology”, vol.13, nº 9, pp. 313-409, 1995).

Resumiendo, puede decirse que los genes (*transgenes*) hasta ahora utilizados en las plantas transgénicas y que son cuestionados corresponden a cinco categorías (Chesson y James, 2000):

- RESISTENCIA A INSECTOS
 - Proteína Bt
- RESISTENCIA A HERBICIDAS
 - Amonio de glufosinato (“Basta”, AgrEvo)
 - Glifosato (“Roundup”, Monsanto)
- GENES MARCADORES DE RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS
 - Canamicina / Neomicina
 - Estreptomicina
 - Ampicilina
 - Amicacina
- GENES DE ANDROESTERILIDAD
 - Genes *barnasa* y *barstar* que afectan a la funcionalidad del polen. Esta tecnología, denominada “terminator”, fue abandonada por la

compañía Monsanto antes de hacerla efectiva ante la mala imagen que produjo

- GENES SILENCIADORES
 - Antisentido (inhibición de la poligalacturonasa en la maduración tomate)

4.1. La Soja y el Maíz Transgénicos

Por su repercusión en Europa, los casos de la soja y el maíz transgénicos resultan de especial relevancia. La soja se utiliza en un 40-60% de los alimentos procesados: aceite, margarina, alimentos dietéticos e infantiles, cerveza, etc. Europa importa anualmente 9 millones de toneladas de los Estados Unidos por un importe de unos 1.400 millones de dólares. España, que importa 1,5 millones de toneladas, es el cuarto país importador detrás de Japón, Taiwan y Holanda.

Cerca del 50% de la soja cultivada en los Estados Unidos es transgénica, de la que aproximadamente un 40% se exporta a Europa. A la soja transgénica, que fue obtenida por la compañía Monsanto, se le ha transferido un gen que produce resistencia al glifosato, que es el elemento activo del herbicida “Roundup”, dándose la circunstancia de que es también la misma compañía la que fabrica el herbicida. Este hecho, que es absolutamente lícito, es interpretado por algunos como un abuso de la compañía; algo así como si fuera juez y parte ya que produce el herbicida y la semilla resistente al mismo.

Ante la protesta de los movimientos ecologistas y la posibilidad de que fuera rechazada la semilla transgénica, los exportadores la mezclan con semilla de soja normal para evitar su identificación. Sin embargo, ya alguna compañía (por ejemplo, la Genetic ID, Iowa, USA) comercializó un test de diagnóstico que permite saber si la semilla de soja (o de maíz, que tiene el mismo problema) es transgénica o no; es decir, si lleva el gen de resistencia al herbicida. Es importante señalar que la comercialización de la soja transgénica está autorizada en los Estados Unidos, Canadá, Japón y la Unión Europea (en esta última desde Abril de 1996).

Otro caso parecido es el del maíz transgénico producido por la multinacional Ciba-Geigy (hoy Novartis). Este maíz, además de resistente al glufosinato de amonio (que es componente activo del herbicida “Basta”), lo es también al “taladro”, un insecto (*Ostrinia nubilalis*) que horada el tallo de la planta destruyéndola. La resistencia la produce el gen procedente de la bacteria *Bacillus thuringiensis* que, como se ha señalado anteriormente, produce la proteína *Bt* que es tóxica para la larva de los dípteros. El problema que puede presentar este maíz transgénico es que la manipulación genética realizada ha unido el gen *Bt* a otro gen utilizado como marcador genético que produce resistencia a antibióticos beta-lactámicos (incluyendo la ampicilina). Los movimientos ecologistas han alertado sobre la posibilidad de que las bacterias del tracto intestinal animal y humano puedan incorporar directa o indirectamente la información genética que da la resistencia a tales antibióticos, con el consiguiente peligro sanitario (Courvalin, 1998). En este aspecto hay que decir que no hay evidencia científica alguna de que ello pueda ocurrir en la práctica aunque fuera teóricamente posible (Casse, 2000; Beever y Kemp, 2000). Podría decirse que la probabilidad es cero. En este contexto me parece interesante resaltar que al realizar el análisis de las secuencias del genoma humano realizado por Celera Genomics (Venter y colaboradores) y por el Human Genome Project (Collins y colaboradores) en 2001 se encontró que en el genoma humano existen varios centenares de genes procedentes de bacterias por transferencia horizontal. Sin embargo, yo no tengo noticia de que se haya utilizado este dato científico como arma arrojadiza contra un posible peligro de las plantas transgénicas.

En lo que todos están de acuerdo es en señalar que mucho más peligroso que las plantas transgénicas portadoras de construcciones genéticas con marcadores de resistencia a antibióticos puede ser la utilización masiva de antibióticos en la cría animal.

La comercialización del maíz transgénico está autorizada en los Estados Unidos (donde supone en torno a un 30 % del maíz cultivado), Canadá, Japón y también en la Unión Europea desde Enero de 1997.

En el Cuadro adjunto se indican las primeras realizaciones comerciales de cultivos transgénicos:

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

Plantas agrícolas transgénicas en vías de comercialización (Carrillo, 1997)

Cultivo	Compañía/Institución	Gen / Carácter	Primeras ventas
Algodón	Calgene	Resistencia a Bromoxynil	1995
	Monsanto	Toxina de <i>Bacillus thuringiensis</i>	1996
	Monsanto	Tolerante a Glifosato	1996
Calabaza	Asgrow	Proteína cubierta de virus	1995
Colza	Calgene	Láurico	1995
	Agr Evo	Tolerante a glufosinato	1995
	Mogen	Semilla de bajo fitato	1996
	Monsanto	Tolerante a glifosato	1996
	PGS	Androesterilidad	-
		Tolerante a glufosinato	-
Lino	Univ. Saskatchewan	Tolerante a glifosato	-
Maíz	Agr Evo	Tolerante a glufosinato	-
	Ciba Geigy (Novartis)	Toxina de <i>Bacillus thuringiensis</i>	1997
	Monsanto	Toxina de <i>Bacillus thuringiensis</i>	1997
	Northrup-King	Toxina de <i>Bacillus thuringiensis</i>	-
Melón	Asgrow	Proteína cubierta de virus	1996
Patata	Monsanto	Toxina de <i>Bacillus thuringiensis</i>	1996
	AVEBT	Almidón modificado	1996
Soja	Monsanto	Tolerante a glifosato	1996
Tabaco	Rone-Pouleuc	Resistencia a Bromoxynil	-
		Proteína cubierta de virus	1995
Tomate	Calgene	Poligalacturonasa (maduración)	1994
	Zeneca / Peto Seeds	Poligalacturonasa (maduración)	1995
	DNAP	ACC sintetasa	1995
	Monsanto	ACC desaminasa	1998
	China (¿?)	Proteína cubierta de virus	1995

En este contexto es importante señalar que, en una estimación global de 1998³, el 33% del comercio mundial de semillas, que suponía unos 23.000 millones de dólares, estaba controlado por las diez primeras empresas del mundo, de las que solamente las tres más importantes (DuPont, Monsanto y Novartis) representan un 20% del total. Además, las cinco compañías más importantes (AstraZeneca, DuPont, Monsanto, Novartis y Aventis) controlan el 60% del mercado mundial de pesticidas, el 23% del mercado de semillas y, prácticamente, el 100% del mercado de semillas transgénicas. Por otro lado, las diez primeras empresas agroquímicas del mundo controlan el 91% del mercado mundial. Todos estos datos de concentración de poder económico en la agricultura plantean problemas éticos importantes y, en ocasiones, puede conducir a situaciones de prepotencia que pueden provocar reacciones violentas en la sociedad como ha sucedido indudablemente con los cultivos transgénicos.

4.2. Beneficios y riesgos potenciales que pueden implicar las plantas transgénicas

Aunque los riesgos potenciales de las plantas transgénicas se pueden agrupar en dos tipos, ecológicos y sanitarios, en el presente contexto únicamente se hará referencia a los primeros.

Al considerar los aspectos ecológicos de la utilización de los cultivos transgénicos hay que tener en cuenta tanto los beneficios como los riesgos potenciales, tal como se indica a continuación (basado en Hails, 2000):

a) PLANTAS RESISTENTES A HERBICIDAS DE AMPLIO ESPECTRO

- **Beneficios potenciales**
 - Elimina la necesidad del tratamiento pre-emergencia. Reduce las labores de cultivo. Reduce la erosión, mantiene la humedad del suelo y ayuda a conservar la microfauna y la flora.

³ Fuente: UNESCO y Ernst & Young, según El País

- El glifosato y el glufosinato, que son los principios activos de los herbicidas utilizados con las plantas transgénicas, son menos persistentes que cualquier otro herbicida, reduciendo por tanto los residuos tóxicos en las aguas subterráneas.
- La estrategia de poder combatir sistemáticamente las malas hierbas puede llegar a controlar algunos biotipos endémicos resistentes a herbicidas como *Alopecurus myosuroides*.
- **Riesgos potenciales**
 - La introgresión de genes de resistencia a herbicidas en especies silvestres afines.
 - El tratamiento con herbicidas de los márgenes de los cultivos podría perjudicar a la biodiversidad y favorecer el desarrollo espontáneo de plantas tolerantes.
 - La utilización de los herbicidas de amplio espectro puede repercutir en la fauna (por ejemplo, aves) al suprimir la presencia de las plantas de las especies no cultivadas que infestaban los campos de cultivo.
 - Podría ser aconsejable diversificar los tipos de herbicidas para mantener la biodiversidad de las poblaciones silvestres dentro de unos mínimos de presión de selección.
- b) **PLANTAS CON GENES *Bt* RESISTENTES A INSECTOS**
 - **Beneficios potenciales**
 - Reducción en el uso de insecticidas químicos tóxicos.
 - Reducción en el impacto sobre insectos no nocivos (por ejemplo, abejas), parasitoides y predadores.
 - Control más efectivo de la plaga al expresarse la proteína *Bt* en todos los tejidos de la planta en cualquier momento.
 - **Riesgos potenciales**
 - Posibilidad de que la población de insectos evolucionara a formas resistentes por la presión de selección favorable a los individuos mutantes (*carácter preadaptativo* de la mutación).
 - Posible impacto sobre otras especies de insectos no nocivas.

- Posible efecto sobre el valor adaptativo de las plantas resistentes al insecto. Una liberación ecológica en un centro de diversidad de la especie podría reducir el acervo genético necesario para ulteriores planes de mejora.

c) **PLANTAS TRANSGÉNICAS (GEN *cp*) RESISTENTES A PATÓGENOS VIRALES**

• **Beneficios potenciales**

- Reducción del uso de productos químicos tóxicos para controlar los insectos vectores del virus patógeno.
- Reducción concomitante en el impacto sobre otros insectos no vectores del virus.
- Control más efectivo de la resistencia al ataque viral al expresarse constitutivamente en la planta (cualquier tejido y en todo momento).

• **Riesgos potenciales**

- Consecuencia de la liberación ecológica: impacto sobre la supervivencia y fecundidad.
- Transencapsidación: La cápside viral incluye sedes de reconocimiento para insectos vectores. Un virus nuevo puede usurpar la cápside ajena y acceder a otros huéspedes vegetales.
- Recombinación: El ARNm del gen *cp* podría recombinar con otro virus que hubiera infectado a la planta huésped, dando lugar a un nuevo virus infeccioso. No se sabe con qué frecuencia puede ocurrir este fenómeno en condiciones naturales.
- Sinergismo: Posibilidad de que otros virus infecciosos puedan interactuar con el producto transgénico, dando lugar a un efecto peor que la infección simple.

Desde el punto de vista ecológico se ha denunciado la posibilidad de que al crear las variedades transgénicas resistentes a herbicidas se incrementará notablemente el uso de éstos con los posibles efectos secundarios negativos de contaminación del suelo y del agua. Otros, sin embargo, defienden la postura contraria. Además, la obtención de resistencia gené-

tica a diferentes plagas y enfermedades implicará el menor uso de pesticidas.

Por otro lado, en especies alógamas (de fecundación cruzada) existe la posibilidad de que una parcela sembrada con plantas transgénicas contamine con su polen a otras parcelas vecinas no transgénicas del mismo cultivo. Por ejemplo, si el polen de un campo de maíz transgénico poliniza plantas normales de una parcela próxima, la semilla que se produzca en esta parcela puede haber incorporado el gen *Bt* transmitido por el polen; es decir, sería transgénica. También podría ocurrir que la resistencia al herbicida de una variedad transgénica se transfiriera por fecundación interespecífica espontánea a una especie silvestre afín, con el consiguiente daño para la agricultura. ¿Se va a legislar respecto a medidas de aislamiento (distancia, barreras naturales, etc.) de los cultivos transgénicos? Estas medidas se aplican durante el periodo de experimentación, pero ¿es posible mantenerlas una vez autorizada su comercialización? De hecho, es importante señalar que ya se ha descrito un primer caso de transferencia de un gen que da resistencia a un insecticida en plantas transgénicas de colza a plantas de rábano que se habían cultivado en su proximidad (Chèvre *et al.*, 1997), poniendo de manifiesto que se ha hecho realidad una posibilidad teórica. Sin duda alguna, esta evidencia científica dará más fuerza a las argumentaciones de los que se oponen a la utilización de las plantas transgénicas. No obstante –sin menoscabo de la prudencia aconsejable en relación con la utilización de cultivos transgénicos– es importante poner de manifiesto que situaciones similares pueden producirse con plantas mejoradas mediante procedimientos genéticos convencionales y nunca nadie ha manifestado su alarma.

Desde el punto de vista de la biodiversidad, se ha planteado también la posibilidad de que las plantas transgénicas *Bt* resistentes a insectos puedan influir a largo plazo sobre otros insectos que no son blanco de la acción directa de la toxina *Bt* o, incluso, sobre aves y mamíferos. Como está ocurriendo ya de forma recurrente en esta polémica, los primeros resultados experimentales obtenidos son contradictorios (ver el comentario por Butler y Relchhardt, 1999).

En este contexto, el caso de la mariposa “Monarca” (*Danaus plexippus*) tuvo un gran impacto emocional en la sociedad. En mayo de

1999, Losey y colaboradores publicaron que solamente un 56% de las larvas de dicha mariposa sobrevivían tras ser alimentadas durante cuatro días con polen de plantas transgénicas de maíz de la variedad N4640-Bt (que expresa el gen Bt también en el polen) disperso sobre hojas de la planta de algodoncillo (milkweed, *Asclepias curassavica*), mientras que el experimento paralelo realizado con polen de plantas normales de maíz no afectaban a la supervivencia de las larvas (100%). Según tales autores, las larvas de la mariposa “Monarca” se alimentan en la naturaleza de hojas de algodoncillo y esta planta aparece frecuentemente en los bordes de los campos de cultivo de maíz, habiendo una coincidencia cronológica entre la época de polinización del maíz (finales de junio a mediados de agosto) y la de alimentación de las larvas; por tanto, se infiere el posible efecto colateral del cultivo del maíz transgénico sobre una especie inofensiva de insecto como es la mariposa “Monarca”. Como consecuencia de esta publicación, la Comisión Europea anunció medidas de precaución paralizando la autorización del cultivo de la variedad de maíz transgénico.

El trabajo de Losey y colaboradores ha sido criticado por otros investigadores (Chesson y James, 2000) en relación con la falta de coincidencia de las épocas de polinización y de crecimiento de las orugas de la mariposa Monarca, sobre sus hábitos de alimentación, cantidad de polen depositado sobre las plantas huésped, y con el hecho de que, por ejemplo en Europa, dos de las tres variedades de maíz transgénico autorizadas no expresan la toxina Bt en el polen. Además, de cualquier manera, habría que contraponer los datos experimentales con lo que ocurriría si plantas de maíz no transgénico fueran tratadas con el insecticida que lleva la toxina Bt como se viene haciendo en la práctica agrícola convencional del cultivo de maíz normal susceptible al insecto del taladro. ¿Dónde se produciría mayor mortandad de larvas?

También, por otro lado, es conveniente señalar que previamente se había comprobado que el gen Bt resultaba aparentemente inofensivo para el hombre, las abejas y otros insectos benignos. Lo cual es una tranquilidad si tenemos en cuenta que no sólo hay maíz Bt, sino que también están autorizados los cultivos de patata Bt y algodón Bt.

4.3. Biodiversidad y Bioseguridad

Desde el punto de vista de la biodiversidad y de la bioseguridad, las plantas transgénicas han sido también objeto de una fuerte contestación a escala mundial promovida por importantes grupos de presión ecologistas, que empezaron con la Convención de Bioseguridad de Cartagena de Indias (Febrero 1999), continuaron con el boicot a la reunión de la Organización Mundial de Comercio en Seattle (Noviembre, 1999) y terminaron con el Protocolo de Bioseguridad de Montreal (Enero, 2000). A continuación se indican las reuniones internacionales a escala mundial que están relacionadas con la biodiversidad y la bioseguridad (ver Fresno, 2001; Barahona, 2001):

- **Cumbre de la tierra o Convenio de Biodiversidad (Río de Janeiro, 1992)**
 - Objetivo: “Conservación y uso sostenible de la diversidad biológica”
- **Segunda conferencia del Convenio de Biodiversidad (Yakarta, 1995)**
 - Objetivo: “Establecer negociaciones para la creación de un Protocolo de Bioseguridad”
- **Convención de Biodiversidad (Cartagena, Colombia, Febrero 1999)**
 - Objetivo: “Protocolo de Bioseguridad”, como Acuerdo Internacional sobre Medio Ambiente de las Naciones Unidas. Fracásó por oposición del Grupo de Miami (Estados Unidos, Canadá, Australia, Argentina, Chile y Uruguay)
- **Reunión en Viena (Septiembre, 1999)**
 - Objetivo: “Expresión del deseo político de ‘rescatar’ el Protocolo de Bioseguridad, convocando un encuentro de los ministros de medio ambiente de todo el mundo”. Se acuerda la fecha del 24 al 28 de enero de 2000 en Montreal
- **Organización Mundial de Comercio (Seattle, Noviembre 1999)**
 - Objetivo: Estados Unidos y Canadá intentaron que se acordara que “las exportaciones e importaciones de transgénicos fueran regula-

das por las normas de comercio internacional y no por normas de protección ambiental”. Fracasó.

- **Protocolo de Bioseguridad (Montreal, 24-28 enero 2000)**
 - Objetivo: “Crear normas ambientales internacionales para prevenir los riesgos causados por los organismos modificados genéticamente (OMGs)”. Regula el comercio internacional de OMGs a fin de evitar riesgos para la salud y el medio ambiente
 - Productos afectados: Todos los que entran en contacto con el medio ambiente, desde las semillas a los peces transgénicos, y los productos agrícolas no transformados (maíz, soja, colza y algodón transgénicos)
 - Productos no afectados: Los alimentos parcialmente elaborados con OMGs, como la salsa de tomate, los fármacos y las vacunas
 - Procedimiento previsto: El comercio no es libre. Los países importadores pueden establecer medidas de control. Todo cargamento de semillas transgénicas necesitará un permiso previo del país importador
 - Principio de precaución: Los países podrán vetar la llegada de un producto, tras analizar los estudios científicos relacionados con su seguridad. Además, el país importador puede solicitar al exportador una evaluación de riesgo
 - Etiquetado: El Protocolo exige un etiquetado en los cargamentos donde se detalle que “pueden contener” OMGs, pero no en una etiqueta específica, sino en la general del producto
 - Jerarquía del Protocolo: El Protocolo no está subordinado a ningún acuerdo internacional (especialmente, los que dependan de la Organización Mundial de Comercio)

4.4. Agricultura transgénica: Algunos datos estadísticos

A continuación se incluyen diversas tablas en las que se recogen datos estadísticos mundiales de los años 1998 a 2000 referentes a los cul-

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

tivos transgénicos más importantes como son la soja, el maíz, el algodón y la colza.

Superficie sembrada con cultivos transgénicos (millones de Ha, MHa) en 1998 y 1999

País	1998	1999	Aumento	Observaciones
Estados Unidos	20,5	28,7	40,0 %	Soja = 15 MHa \approx 50% de superficie total cultivada Maíz Bt = 10,3 MHa \approx 33% de la superficie total cultivada
Argentina	4,3	6,7	55,8 %	Soja = 6,4 MHa \approx 90% de superficie total cultivada
Canadá	2,8	4,0	42,9 %	Soja = 3,4 MHa \approx 62% de la superficie total cultivada
China	< 0,1	0,3	> 200 %	
Australia	0,1	0,1	--	
Sudáfrica	< 0,1	0,1	--	
Méjico	< 0,1	< 0,1	--	
España	< 0,1	< 0,1	--	Maíz Bt = 25.000 - 30.000 Ha (Valle del Ebro, Castilla - La Mancha, Extremadura) La soja no se cultiva, pero se importa
Francia	< 0,1	< 0,1	--	
Portugal	0	< 0,1	--	
Rumanía	0	< 0,1	--	
Ucrania	0	< 0,1	--	
Total	27,8	39,9	43,5 %	

Fuente: ISAAA (Octubre, 1999)

A pesar de la fuerte oposición de los grupos ecologistas y algunas ONGs en contra de las plantas transgénicas, la realidad es que, tal como

se indica en el cuadro anterior, la superficie cultivada se incrementó de 1998 a 1999 en un 43,5%, pasando de 27,8 a 39,9 millones de hectáreas. También se ha incrementado el número de países con cultivos transgénicos: uno en 1992; 6 en 1996; 12 en 1999. Los cultivos transgénicos mayoritarios en 1999 fueron la soja (54 %), el maíz (28 %), el algodón (9%) y la colza (9 %). Finalmente, el valor económico de las ventas totales de cultivos transgénicos en el año 1999 fue de 380.000 millones de pesetas; estimándose en 500.000 millones para el año 2000 y en 1.320.000 millones de pesetas para el año 2005.

De los datos suministrados por el International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) (James, 2000) se infiere que, pese a los nubarrones que se cernían o ciernen sobre las plantas transgénicas, los cultivos transgénicos continúan estableciéndose en la agricultura mundial en los términos que se indican a continuación:

• **Datos globales sobre cultivos transgénicos**

Año	Superficie cultivada (millones de hectáreas, MHa)	% correspondiente a países industrializados	% correspondiente a países en desarrollo	Número de países con cultivos GM
1996	1,7			6
1997	≈12	86	14	
1998	27,8	84	16	9
1999	39,9	82	18	12
2000	44,2	76	24	13
2001*	≈ 50			15

* Los datos del año 2001 no están aún totalmente elaborados (fuente: ISAAA, 18 Octubre 2001)

De los datos presentados se deduce que en los seis años transcurridos desde que en 1996 se cultivaron las primeras cosechas transgénicas hasta el año 2001, los cultivos transgénicos se han multiplicado 30 veces, pasando de 1,7 M Ha a unos 50 M Ha. Los incrementos anuales desde 1998 al 2001 han sido del 43,5%, 10,8% y 13,1%, respectivamente. Esta-

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

dos Unidos, Argentina, Canadá, China, Australia y África del Sur son los países que han apostado más fuerte por los cultivos transgénicos.

La fuerte controversia de los cultivos transgénicos produjo algunas “víctimas” en la guerra incruenta a la que antes se hacía mención. A continuación se indican las primeras prohibiciones de cultivos transgénicos que se produjeron en diversos países del mundo como consecuencia de la presión sociológica:

País	Cultivo transgénico prohibido	Fecha
Austria	Maíz Bt de Novartis	Febrero 1997
Luxemburgo	Maíz Bt de Novartis	Febrero 1997
Noruega	Maíz Bt de Novartis y todos los cultivos transgénicos con marcadores de resistencia a antibióticos	Octubre, 1997
Francia	Ha paralizado el cultivo comercial de transgénicos, excepto los maíces de Novartis, Monsanto y AgrEvo Todos los cultivos transgénicos que tengan especies silvestres afines en Europa Colza transgénica	Noviembre, 1997
		Julio, 1998
		Noviembre, 1998
Grecia	Colza de AgrEvo	Octubre, 1998
India	Prohibición provisional experimentos de campo de cultivos transgénicos	Febrero, 1999
Suiza	Experimentos de campo del maíz de AgrEvo	Abril, 1999
Brasil	Prohibición de comercialización de soja transgénica de Monsanto	Julio-Agosto, 1999
Portugal	Dos variedades de maíz transgénico	Diciembre, 1999

Tal como se indica en el cuadro anterior, los países de la Comunidad Europea son todavía reticentes hacia los cultivos transgénicos aunque ya recientemente se haya levantado la moratoria impuesta en años anteriores. En mi opinión, creo que muchas veces las decisiones políticas que han prohibido los cultivos transgénicos han sido por motivos electoralistas. Pese a todo, en la Unión Europea se han aprobado hasta el año 2001 catorce cultivos transgénicos entre los que podemos citar la soja (que se

importa y procesa, pero no se cultiva), el maíz resistente al taladro (*Sesamia* y *Ostrinia*), tabaco, colza y achicoria tolerantes a herbicidas, claveles, etc. (Barahona, 2001). En España, las declaraciones de los partidos políticos, los gobiernos autonómicos o las propuestas parlamentarias, muchas veces contrarias a los cultivos transgénicos, no se han traducido, sin embargo, en normativas legales que prohíban la explotación comercial de los cultivos transgénicos.

La Comunidad Europea, representada por su Comisario de Investigación Phillippe Burquin (2001), ha dedicado un considerable esfuerzo científico en la evaluación de los riesgos y seguridad (bioseguridad) de los organismos modificados genéticamente (GMO), incluyendo los cultivos transgénicos, tal como aparece en la página web correspondiente (<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/index.html>). Así durante el período 1985 a 2000, correspondiente a los cinco primeros Programas Marco, se han llevado a cabo 81 proyectos de investigación sobre bioseguridad que han involucrado a más de 400 equipos de trabajo con una inversión de unos 70 millones de euros.

Ha continuación se indican algunos datos estadísticos que pueden resultar de interés en el análisis de la situación global mundial:

- **Datos comparativos entre países industrializados y países en desarrollo**

Superficie cultivada de cultivos transgénicos (en MHa)			
Año	Total	Países industrializados	Países en desarrollo
1999	39,9	32,8	7,1
2000	44,2	33,5	10,7
		} $\Delta = 11\%$	} $\Delta = 51\%$
Aumento	4,3	0,7 (16%)	3,6 (84%)

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

Habida cuenta que, tal como se decía anteriormente, en el año 2.000 la población mundial era de 6.000 millones de habitantes y que para el año 2.050 se estima que será de 9.000 millones, de los que un 90% vivirán en Asia, África y América Latina, tiene especial relevancia el hecho de que el incremento de superficie cultivada con cultivos transgénicos en países en vías de desarrollo en el año 2.000 haya sido de un 51% en términos relativos (de 7,1 MHa en 1.999 a 10,7 MHa en 2.000) frente al 11% de crecimiento en los países desarrollados. En términos globales, el aumento de superficie cultivada con plantas transgénicas en el año 2.000 fue de 4,3 M ha, de las que un 84% (3,6 MHa) corresponden a países en desarrollo.

• **Distribución por países de cultivos transgénicos en el año 2000**

País	Superficie cultivada (millones de hectáreas, MHa)	%
USA	30,3 ($\Delta = 1,6$)	68
Argentina	10,0 ($\Delta = 3,3$)	23
Canadá	3,0 ($\Delta = - 1,0$)	7
China	0,5 ($\Delta = 0,3$)	1
Australia	0,15	
África del Sur	0,1	
Méjico	menos de 0,1	
España	menos de 0,1	
Alemania	Disminución importante en el año 2.000	1%
Francia		
Rumanía		
Bulgaria		
Uruguay	menos de 0,1	
Ucrania	menos de 0,1	
Portugal	Sí en 1.999; sin cultivo en 2.000	

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

- **Distribución de cultivos transgénicos en los años 1999 y 2000 (superficie cultivada en millones de hectáreas, MHa)**

Cultivo	Año		Observaciones
	1999	2000	
Soja	21,6	25,8	USA aumentó 1,5 MHa, llegando al 54% de la superficie total de cultivo de soja del país (30,2 MHa) Argentina aumentó 2,7 MHa, llegando al 95% del total del país (9,6 MHa)
Maíz	11,1	10,3	USA y Canadá disminuyen Argentina aumenta la superficie sembrada, pasando de representar un 5% de la superficie total del país a un 20%
Algodón	3,7	5,3	USA aumenta, pasando del 55% al 72% de la superficie total del cultivo en el país China aumenta hasta un 10% de la superficie total del cultivo en el país Méjico, Australia, Argentina y África del Sur, ligero aumento
Colza	3,4	2,8	Canadá disminuye 0,6MHa USA aumenta ligeramente
Total	39,8	44,2	

- **Adopción global de los cultivos transgénicos principales en el año 2000**

Cultivo	Superficie sembrada con plantas transgénicas (MHa)	% aproximado que representa sobre la superficie total sembrada de tal cultivo
Soja	25,8	36 % de 72 MHa
Algodón	5,3	16 % de 34 MHa
Colza	2,8	11 % de 25 MHa
Maíz	10,3	7 % de 140 MHa
Total	44,2	16 % de 271 MHa

- **Distribución de cultivos transgénicos de soja, maíz y algodón por caracteres en los años 1999 y 2000**

Carácter	1999	2000
Tolerancia a herbicida	28,1 MHa (70%)	32,7 MHa (74%)
Resistencia a insectos (Bt)	8,9 MHa (23%)	8,3 MHa (19%)
Tolerancia a herbicida y Bt	2,9 MHa (7%)	3,2 MHa (7%)
Total	39,9 MHa (100%)	44,2 MHa (100%)

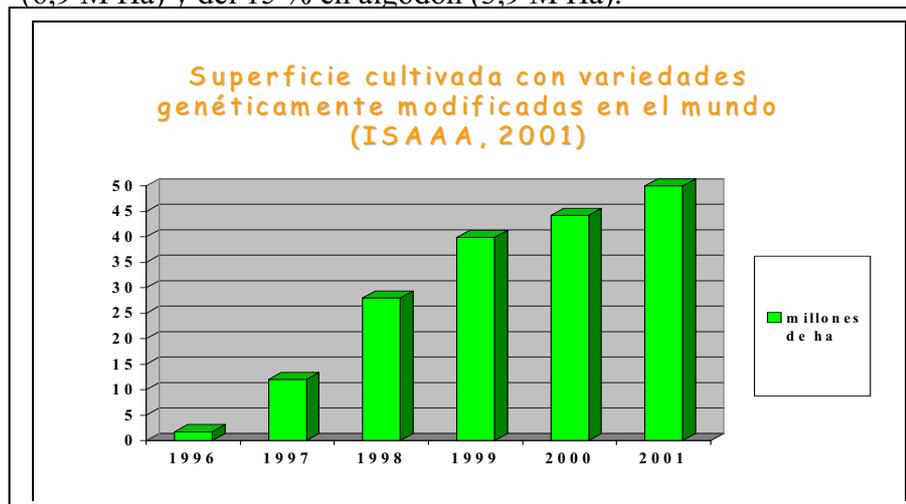
- **Cultivos transgénicos dominantes en el año 2000**

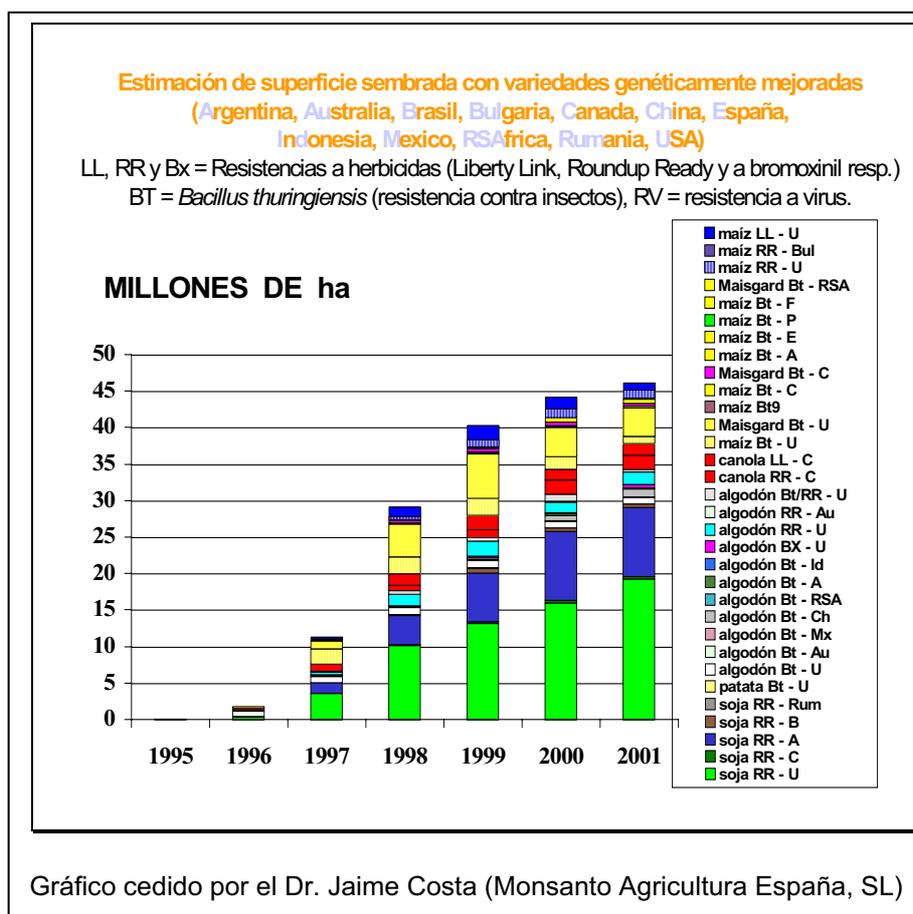
Cultivo	Superficie cultivada (MHa)	Países productores principales
Soja tolerante a herbicida	25,8 (59%)	USA, Argentina, Canadá, México, Rumanía, Uruguay
Maíz resistente a insectos (Bt)	6,8 (15%)	USA, Canadá, Argentina, África del Sur, España, Francia

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

Colza tolerante a herbicida	2,8 (6%)	
Maíz tolerante a herbicida	2,1 (5%)	
Algodón tolerante a herbicida	2,1 (5%)	
Algodón Bt y tolerante a herbicida	1,7 (4%)	
Algodón Bt	1,5 (3%)	
Maíz Bt y tolerante a herbicida	1,4 (3%)	
Total	44,2 (100%)	

Pese a las “dificultades ambientales” con que se enfrentan las compañías multinacionales productoras de semillas, en su informe de resultados financieros correspondientes al tercer trimestre del año 2001, la compañía Monsanto ha comunicado que la superficie cultivada con las nuevas variedades derivadas de sus modificaciones genéticas han crecido en un 17 % en los Estados Unidos, lo que representa 33,6 M Ha. Los aumentos en 2001 han sido del 21 % en soja (18 M Ha), del 8 % en maíz (6,9 M Ha) y del 15 % en algodón (3,9 M Ha).





5. EL RIESGO: MANIPULACIÓN GENÉTICA Y MANIPULACIÓN SOCIAL

Las plantas transgénicas son un reto de la Biotecnología actual que han creado un cierto grado de alarma social consecuencia, en cierto modo, del temor a lo desconocido y novedoso. De todas formas, es bueno y necesario que se plantee en la sociedad un debate serio y riguroso, sin “eco-

logismos” demagógicos, que permita el avance de la ciencia, evitando a la vez peligros y riesgos innecesarios. De cualquier manera, en relación con el riesgo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos que destacaba el Profesor García-Olmedo (1998):

- En general, la ciencia ha avanzado a ciegas en cuanto al riesgo, pero alerta a sus síntomas
- Hay que distinguir entre el riesgo de la investigación básica y el riesgo de la aplicación del conocimiento adquirido
- Hay discrepancias entre la importancia objetiva de un riesgo y su percepción subjetiva:
 - El riesgo voluntario causa menos temor que el riesgo impuesto
 - El riesgo de origen natural causa menos temor que el de origen industrial
 - El riesgo que se produce en un entorno familiar causa menos temor que el que se produce en un escenario exótico
 - El riesgo que es difuso en el tiempo o en el espacio causa menos temor que el que se concreta en hora y lugar
- No existe el riesgo cero: Toda actividad humana conlleva un cierto riesgo que ha de ser evaluado en función de los beneficios que tal actividad reporta

Además, hay que tener en cuenta también que:

- Natural no es sinónimo de inocuo: Hay productos naturales que llevan sustancias mutagénicas y cancerígenas; por ejemplo, la pimienta negra (safrol), las setas comestibles (hidrazinas), el apio (psolareno), los frutos secos (aflatoxinas de hongos), etc.
- No todo lo artificial es nocivo: Ninguno de los conservantes autorizados llega a ser tan peligroso como las toxinas que pueden producir las bacterias y los hongos que el conservante evita

En relación con el riesgo, es importante hacer hincapié otra vez en el **principio de precaución**, que fue en gran parte el caballo de batalla de

la reunión de Montreal (enero, 2000) que estableció el Protocolo de Bioseguridad. A la hora de aplicar correctamente el principio de precaución es fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Distinción entre producto y proceso
 - Es el producto, no el proceso, lo que debe ser sometido a debate
- Distinción entre peligro y riesgo
 - El peligro indica la posibilidad de que se produzca un hecho
 - El riesgo indica la probabilidad de que tal hecho ocurra
- Una moratoria sería justificable a condición de definir claramente sus objetivos y su duración, a fin de evitar la prohibición pura y simple que tal nombre ocultaría

Finalmente, podrían mencionarse también las paradojas que se están produciendo en el debate social de la plantas transgénicas (Dixon, 1999):

- Los titulares alarmistas de los medios de comunicación social contrastan con el hecho de que la regulación de la ingeniería genética es mayor y más transparente que cualquier otra tecnología del pasado
- Los ecologistas activistas han destruido en ocasiones los campos de experimentación establecidos para estudiar el impacto ambiental de los cultivos transgénicos
- La transferencia interespecífica de información genética (no sólo genes, sino incluso genomas completos) se viene realizando en la mejora de plantas convencional desde hace mucho tiempo
- La obtención de plantas genéticamente resistentes a enfermedades y plagas era, precisamente, el método preconizado por la pionera ambientalista Rachael Carson frente al uso de fungicidas e insecticidas.

6. EPÍLOGO

Pese a la posición mayoritaria de la comunidad científica en defensa de los cultivos transgénicos, no cabe duda que la presión social en su contra sigue siendo aún importante.

Norman E. Borlaug, el premio Nobel de la Paz 1970 a quien antes he mencionado, se ha manifestado duramente en contra de lo que llama “multitud anti-ciencia” (Borlaug y Dowswell, 2000). Recojo sus palabras:

“La ciencia y la tecnología son crecientemente atacadas en las naciones ricas, donde algunos ecologistas mal informados proclaman que el consumidor está siendo envenenado hasta la muerte por los actuales sistemas de producción agrícola de alto rendimiento. Aunque intento convencerme de que esto no es así, a menudo me pregunto cómo es posible que tanta gente supuestamente ‘educada’ sea tan ignorante en lo referente a la ciencia. Parece haber un miedo creciente a la ciencia, *per se*, a medida que el ritmo de los avances tecnológicos aumenta.

[...]

¿Qué debemos pensar cuando los científicos se alían con movimientos políticos anti-ciencia, como es el caso de la multitud antibiotecnológica? ¿Qué debemos pensar cuando los científicos prestan sus nombres a propuestas acientíficas? ¿Debe extrañar que la ciencia esté perdiendo su prestigio?

[...]

Los elitistas medioambientales extremos parecen estar haciendo todo lo posible para detener el progreso científico. Grupos pequeños, bien financiados, vociferantes y anti-ciencia están amenazando el desarrollo y la aplicación de nueva tecnología, ya sea desarrollada a partir de la biotecnología o por otros medios más convencionales de la agronomía.

[...]

Con toda seguridad, los líderes y científicos agrícolas tienen la obligación moral de advertir a los líderes políticos, educativos y religiosos sobre la magnitud y seriedad de los problemas de las tierras cultivables, los alimentos y la población que tenemos por delante. Si fallamos en hacer esto de manera contundente seremos negligentes en nuestra obligación e involuntariamente estaremos contribuyendo al amenazante caos de incalculables millones de muertes por inanición. El problema no desaparecerá por sí solo; de continuar ignorándolo, la solución futura será más difícil de alcanzar.”

Duras palabras con valor acrecentado, viniendo de quien vienen: un Premio Nobel de la Paz.

No resisto la tentación de terminar este trabajo haciendo referencia al libro de Dominique Lapierre y Javier Moro titulado “Era media noche en Bhopal” (*Editorial Planeta, S.A. y Círculo de Lectores, 2001*) en el que se describe la tragedia que se vivió la noche del 2 al 3 de diciembre de 1984 en la ciudad india de Bhopal como consecuencia del escape de gas tóxico en una fábrica de la multinacional norteamericana Union Carbide en la que se fabricaba el pesticida agrícola “Sevin” que, según la propaganda comercial dirigida al agricultor indio, “cada rupia que te gastes en comprar Sevin, te hará ganar cinco rupias”. El escape de la nube de gas tóxico produjo unos treinta mil muertos y quinientos mil heridos: posiblemente, la catástrofe industrial más mortífera de la historia. Pues bien, en el capítulo escrito a modo de Epílogo (pp. 388-390) se describe cómo una de las parejas protagonistas de la historia narrada deciden hacerse agricultores, abandonando Bhopal. Y lo cuentan en los siguientes términos:

“Un día del otoño de 1998, Dilip y Padmini recibieron la visita de un comerciante de pesticidas que no habían visto nunca antes. Llevaba un mono de tela azul marcado con un escudo. Padmini, que había aprendido a leer gracias a la hermana Felicity, descifró sin esfuerzo el nombre inscrito en el centro del escudo. Era el de una de las mayores empresas químicas del mundo.

– Soy el representante de Monsanto –declaró-, y he venido a traeros un regalo.

Con estas palabras, el hombre sacó de su motocarro una bolsita llena de semillas negras que puso en las manos de Dilip.

– Estas semillas de soja han sido especialmente modificadas –explicó-, contienen proteínas que les permiten defenderse contra todos los insectos, incluidas las orugas [...]

El “benefactor” desplegó en unos instantes todo un catálogo de productos milagrosos ante la joven pareja de campesinos indios. Sin embargo, su visita no tenía ningún fin humanitario. Era fruto de una estrategia de marketing concebida a veinte mil kilómetros de distan-

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

cia, en California, donde se encontraba la sede de Monsanto, líder de la nueva revolución biotecnológica. Treinta años después de Eduardo Muñoz y su Sevin, Monsanto mostraba su intención de copar a su vez el mercado indio.

[...]

En cuanto a los riesgos para la salud que esa manipulación transgénica representaba, ni el enviado de Monsanto ni sus jóvenes clientes eran capaces de imaginarlo. ¿Acaso no era la India un campo de experimentación de ensueño para nuevos aprendices de brujo? Si todo lo que el vendedor les había dicho era cierto, Padmini y Dilip estaban convencidos de que su vida iba a cambiar para siempre. Podían encender bastoncillos de incienso al dios. El porvenir les pertenecía.”

Confieso que este final inesperado del libro –podríamos decir que traído por los pelos- me impactó, aunque no comparto su mensaje subliminal.

Para terminar este escrito me gustaría incluir las reflexiones que en ocasiones anteriores he hecho al comparar la evolución biológica con la evolución cultural (Lacadena, 1978):

“Si nos referimos ahora a la evolución cultural podemos volver a plantear la misma pregunta inicial: ¿la evolución cultural significa progreso? Tampoco aquí la respuesta puede ser taxativa: unas veces sí, otras veces no; depende del criterio con que se evalúe el concepto de progreso cultural. La tecnología, la urbanización, etc. son, sin duda, avances culturales que, sin embargo, pueden tener efectos negativos en la calidad de vida como son la deshumanización y la masificación: la pérdida, en definitiva, de la individualidad e idiosincrasia humanas. Sin embargo, el proceso parece irreversible: lo mismo que la evolución biológica produce un proceso de complejidad creciente tal como se razonaba anteriormente, en la evolución cultural es posible que ya no sepamos vivir sin los confortables adelantos técnicos de una sociedad industrializada y urbanizada, a pesar de que muchas veces nos podamos sentir agobiados por el propio progreso. Por ello, hago más las palabras que hace bastantes años escuché al profesor Juan Oró:

JUAN-RAMÓN LACADENA

Pido a la tecnología moderna la facilidad de intercomunicarme con mis semejantes sin que el ruido de los aviones me enloquezca ni las radiaciones maten mis células. Pido utilizar la energía fósil sin que la contaminación devaste nuestras costas, o la energía nuclear sin que ello produzca en mis descendientes anomalías genéticas eternas”.

A estas peticiones podríamos añadir la siguiente, aquí y ahora: “pido utilizar la biotecnología de la Agricultura transgénica sin que ello perjudique nuestro entorno ecológico ni atente contra la salud del mundo”.

7. REFERENCIAS

- (1) BARAHONA, E. 2001. El protocolo de Cartagena. En (Javier Gafo †, ed.) “Aspectos científicos, jurídicos y éticos de los transgénicos”, *Dilemas éticos de la medicina actual*, vol. 14, pp. 85-103, *Publicaciones de la Universidad Pontificia Comillas, Madrid*
- (2) BORLAUG, N.E.; DOWSWELL, C. 2000. El agua y la agricultura. Una visión sobre la investigación y el desarrollo en el siglo XXI. En *Los regadíos españoles. II Simposio Nacional (Madrid, Febrero 2000)*, Editorial Agrícola Española, S.A., Madrid, pp. 38-50
- (3) BURQUIN, P. 2001. EC-sponsored research on safety of Genetically Modified Organisms. A review of results. Introduction. <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/index.html>
- (4) BUTLER, D.; RELCHHARDT, T. 1999. Long-term effect of GM crops serves up food for thought. *Nature*, 398:651-656
- (5) CARBONERO, P. 1997. Plantas transgénicas. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat.*, 91:115-120
- (6) CARRILLO, J.M. 1997. Plantas agrícolas transgénicas. ¿Beneficio o peligro?. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat.*, 91:121-128
- (7) CASSE, F. 2000. El maíz y la resistencia a los antibióticos. *Mundo Científico*, 210:32-36
- (8) CASTAÑERA, P.; ORTEGO, F. 2000. El maíz transgénico en España. *Mundo Científico*, 210:43-47

AGRICULTURA TRANSGÉNICA

- (9) CHESSON, A.; JAMES, P. 2000. Los alimentos con OGM ¿están exentos de peligros? *Mundo Científico*, 210:23-31
- (10) CHÈVRE, A.M. ; EBER, F. ; BARANGER, A. ; RENARD, M. 1997. Gene flow from transgenic crops. *Nature*, 389 : 924
- (11) COURVALIN,P. 1998. Plantas transgénicas y antibióticas. *Mundo Científico*192:20-24
- (12) DIXON, B. 1999. The paradoxes of genetically modified foods. *British Medical Journal*, 318:547-548
- (13) FRESNO, A. 2001. Aspectos jurídicos y legislativos sobre transgénicos. En (Javier Gafo †, ed.) “Aspectos científicos, jurídicos y éticos de los transgénicos”, *Dilemas éticos de la medicina actual*, vol. 14, pp. 69-84, *Publicaciones de la Universidad Pontificia Comillas, Madrid*
- (14) GARCIA OLMEDO,F. 1998. La tercera revolución verde. Plantas con luz propia. *Editorial Debate S.A.*,209 pp.
- (15) HAILS, R.S. 2000. Genetically modified plants – the debate continues. *Trends in Ecology*, 15:14-18
- (16) JAMES, C. 2000. Global status of commercialised transgenic crops: 2000. *ISAAA Briefs No. 21: Preview*, ISAAA: Ithaca, NY
- (17) LACADENA, J.R. 1978. Evolución de la Humanidad. *Crítica (Madrid)*, 658:15-18
- (18) LACADENA, J.R. 1997. El mercado de transgénicos. *Nueva Revista (Madrid)*, 52 : 61-75
- (19) LACADENA, J.R. 1998. Plantas y alimentos transgénicos. *Rev. Soc. Intern. Bio-ética (SIBI, Gijón)*,1:17-23
- (20) LACADENA, J.R. 2000 a. Alimentos transgénicos: Verdades y mentiras. En *Alimentación y Salud* (B. Sanz, coord.), *Monografías de la Real Academia de Farmacia nº 6, Madrid*, pp. 343-359
- (21) LACADENA, J.R. 2000 b. Conmemorando un siglo de Genética (1900-2000). *Anal. Real Acad. Farm.*, 66:485-540
- (22) LACADENA, J.R. 2001. Plantas y alimentos transgénicos. En (Javier Gafo †, ed.) “Aspectos científicos, jurídicos y éticos de los transgénicos”, *Dilemas éticos de la medicina actual*, vol. 14, pp. 15-47, *Publicaciones de la Universidad Pontificia Comillas, Madrid*
- (23) LOSEY, J.E.; RAYOR, L.S.; CARTER, M.E. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399:214
- (24) RIECHMANN, J. 1999. Argumentos recombinantes. Sobre cultivos y alimentos transgénicos. *Los Libros de la Catarata*, Madrid
- (25) RIECHMANN, J. 2000. Cultivos y alimentos transgénicos. Una guía práctica. *Los Libros de la Catarata, Madrid*

- (26) THE ECOLOGIST. 1998. The Monsanto files. Can we survive genetic engineering?, 28 (5) (traducido al castellano en la revista *Gaia*, nº 15, 67 pp., Diciembre 1998)
- (27) TRENDS IN BIOTECHNOLOGY. 1995. Special Issue : “Plant-product and crop biotechnology”. Vol. 13, No. 9, pp. 313-409
- (28) YE, X.; AL-BABILI, S.; KLÖTI, A.; ZHANG, J.; LUCCA, P.; BEYER, P.; POTRYKUS, I. 2000. Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science*, 287:303-305