

BIOLOGIA VEGETAL

Plantas transgénicas

[J. F. Carrasco](#)

Licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad de Barcelona (España)

Resumen

Se expone el desarrollo de la Ingeniería Genética aplicada al mejoramiento de cultivos. Se discuten los posibles riesgos y ventajas de esta rama de la Biotecnología.

Summary

The development of the Genetics Engineering applied to improvement of cultures is exposed. It discusses to the advantages and risks of this branch of the Biotechnology.

PALABRAS CLAVE: Plantas transgénicas, Ingeniería genética, alimentos transgénicos.

KEY WORDS: Transgenic Plants, Genetic Engineering, transgenic foods.

Introducción

Desde la aparición de la agricultura la humanidad ha seleccionado las plantas que le proporcionaban un mayor rendimiento en alimentos o materias primas necesarias para la obtención de numerosos productos útiles como drogas, medicinas, colorantes y especias. Los primeros agricultores aumentaban la producción guardando para la siguiente siembra las semillas de las plantas más deseables. En los últimos cien años, con el descubrimiento de las leyes de la Herencia por Mendel y el avance de la biología vegetal, la mejora de las plantas se ha incrementado considerablemente.

Ha sido práctica habitual los cruzamientos entre individuos de la misma especie o especies próximas hasta obtener individuos híbridos portadores de la característica deseada. El principal factor limitante de este procedimiento reside en la incompatibilidad sexual entre las especies progenitoras. Si existe una gran divergencia genética o poco parentesco entre ellas la probabilidad de obtener descendencia es muy baja.

La Ingeniería genética permite el acceso y manipulación directa de los genes rompiendo las barreras impuestas por la divergencia genética. Esta tecnología nos permite no sólo introducir en una planta genes procedentes de otras especies vegetales sino también de animales y microorganismos. De esta manera se obtienen plantas transgénicas, es decir, portadoras de un gen ajeno o exógeno que se denomina *transgén*. Para llegar al nivel

actual de desarrollo de esta rama de la ingeniería genética vegetal ha sido necesaria la aportación de los importantes avances en el conocimiento de la Biología molecular de los ácidos nucleicos y el desarrollo de la técnica del cultivo de tejidos vegetales *in vitro*. Las plantas transgénicas tienen en potencia múltiples aplicaciones y a continuación se nombran algunas, muchas de ellas con una importante implantación en el mercado agrícola a finales del siglo XX:

-Incremento de la productividad al proteger los cultivos contra:

- plagas
- enfermedades
- herbicidas (tolerancia a los herbicidas para eliminar las malas hierbas)
- sequías
- salinidad elevada del suelo

-Regeneración de suelos contaminados por metales pesados con plantas transgénicas tolerantes a concentraciones elevadas de estos elementos.

-Producción de medicamentos. En 1997 se investigaba la producción de anticuerpos monoclonales, vacunas y otras proteínas terapéuticas en plantas transgénicas de maíz y soja.

-Retraso de la maduración de los frutos para conseguir dilatar el tiempo de almacenamiento.

Procedimientos para la obtención de plantas transgénicas

Se emplean principalmente tres métodos para introducir genes ajenos en una planta. Todos estos métodos obtuvieron por primera vez, con más o menos éxito, plantas transgénicas en la década de los ochenta y muchas de ellas se comercializaron en los noventa.

El primer método que se ideó se basa en el mecanismo natural de infección de la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens* que introduce un gen de su plásmido en las células de la planta infectada. Recordemos que un plásmido es un fragmento de ADN circular y extracromosómico que suele contener información no vital para la bacteria y cuyo tamaño es del orden del 1 al 3% del cromosoma bacteriano (fig. 1 y 3). Este gen se integra en el genoma de la planta provocándole un tumor o agalla. Se aplicó con éxito por primera vez en 1984 en el tabaco y el girasol. Las gramíneas y en general todas las monocotiledóneas presentan gran resistencia a *Agrobacterium* por lo cual este método es bastante inviable en un extenso grupo de plantas de gran importancia económica.

Otro método empleado para transformar genéticamente plantas es el uso de *protoplastos*, que son células vegetales a las que se les ha liberado de la pared celular. De esta manera queda eliminada la barrera principal para la introducción de genes foráneos. Mediante esta técnica se consiguió por primera vez cereales transgénicos en 1988.

En el año 1987 se inventa el método del *microcañón* o cañón de partículas que consiste en bombardear tejidos de la planta con micropartículas metálicas cubiertas del fragmento de ADN que interesa se integre en el ADN de la planta. Es el procedimiento que más éxitos ha conseguido y el que promete más avances.

Transferencia genética con *Agrobacterium tumefaciens*

En 1970 se planteó la hipótesis de que la enfermedad de las plantas denominada *agalla del cuello* podría ser producida por la transferencia de material genético entre una bacteria, *Agrobacterium tumefaciens*, y las células vegetales. La agalla del cuello se caracteriza por la formación de voluminosas agallas, sobretodo en el cuello del tallo (zona de contacto entre el tallo y la raíz), también en las raíces y el tallo de numerosas plantas de interés agronómico. La enfermedad es de naturaleza tumoral y ya se había demostrado, a finales de los años sesenta, que las células afectadas contienen unas sustancias, las *opinas* (sustancias nitrocarbonadas), que no se encuentran en las células normales. También se demostró que existen varias clases de tumores en función de la concentración de opinas y que es el material genético de la bacteria el que determina este carácter ya que estas observaciones se realizaron en tejidos cultivados *in vitro*, es decir, en ausencia de bacterias. Se concluyó que las células tumorales habían adquirido la propiedad de sintetizar opinas durante la interacción con la bacteria. También se concluyó que la naturaleza de las opinas depende de la cepa bacteriana y también que cada cepa degrada específicamente sus propias opinas. Quedaba demostrada la hipótesis de la transferencia de información entre la bacteria y la célula vegetal.

Schell (1973) anunció el descubrimiento en cepas de *Agrobacterium tumefaciens* de un plásmido de un tamaño jamás observado hasta entonces y que el plásmido llamado Ti (del inglés Tumour inducing) es portador del carácter patógeno. Más adelante se observó que todas las células de las agallas eran portadoras de un fragmento del plásmido Ti que se denominó ADN-T (ADN transferido). Se demostró después que el plásmido tenía varias funciones: la función de virulencia (Vir), responsable de la transferencia del ADN-T, la oncogena (Onc), responsable del tumor (consecuencia de la síntesis de auxina y citoquinina), la función que especifica la síntesis de opinas (Ops), moléculas que sirven de alimento a la propia bacteria, y la función catabólica (Opc, opina catabolismo). En realidad se encontraron varios segmentos Opc1, Opc2, que permiten la degradación de las opinas producidas por el tumor. Se ha de distinguir dos tipos de funciones: las funciones situadas fuera del segmento ADN-T (Vir, Opc1, Opc2) que se expresan en la bacteria y las funciones controladas por el segmento ADN-T (Onc, Ops) que se expresan en la célula vegetal después de la transferencia de este segmento (fig. 1)

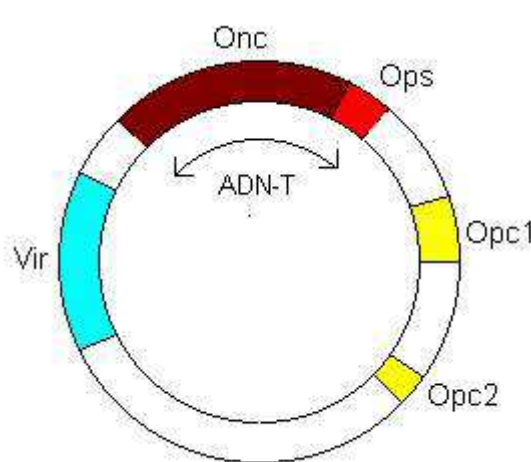


Fig. 1.- Plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens*

En resumen la bacteria no es patógena per se porque no segrega ninguna toxina que disuelva las paredes celulares como hacen otras bacterias patógenas. Sus efectos se deben a la transferencia de un segmento de ADN, el ADN-T, cuya expresión en las células vegetales es la causa de la enfermedad. La supresión en el plásmido del segmento transferido hace que la bacteria sea inofensiva sin que ello se la prive de la capacidad de transferir ADN a una célula vegetal. Por tanto se puede plantear su sustitución por un fragmento de ADN extraño.

El segmento ADN-T está delimitado en ambos extremos por unas secuencias determinadas de nucleótidos que actúan a modo de señales. La señal "promotor" al principio y la "terminador" al final. La región transferida y que se integra en el genoma de la planta es la comprendida entre estas dos señales. En teoría era posible transferir cualquier gen extraño colocado entre estas dos secuencias. En 1983 se introdujo un gen bacteriano que confería resistencia al antibiótico cloramfenicol. Se escogió este gen sólo porque es fácil poner de manifiesto su expresión: las células que han integrado el gen sintetizan el enzima cloramfenicol transacetilasa que gobierna la síntesis del antibiótico. El gen empleado se expresa en la bacteria *Escherichia coli*. Para que un gen pueda expresarse el enzima ARN polimerasa debe reconocer el "promotor" y el "terminador". La ARN polimerasa del tabaco (una planta muy empleada en estos experimentos de transferencia de genes) no reconoce los promotores y terminadores de *E. coli* y por consiguiente no transcribe este gen. Para solucionar el problema se fabricó un gen compuesto o quimérico a partir del gen de la resistencia al cloramfenicol de *E. coli*, un promotor y terminador procedentes del segmento ADN-T de *Agrobacterium tumefaciens*. El gen quimérico se reincorporó en un plásmido Ti (fig. 2).

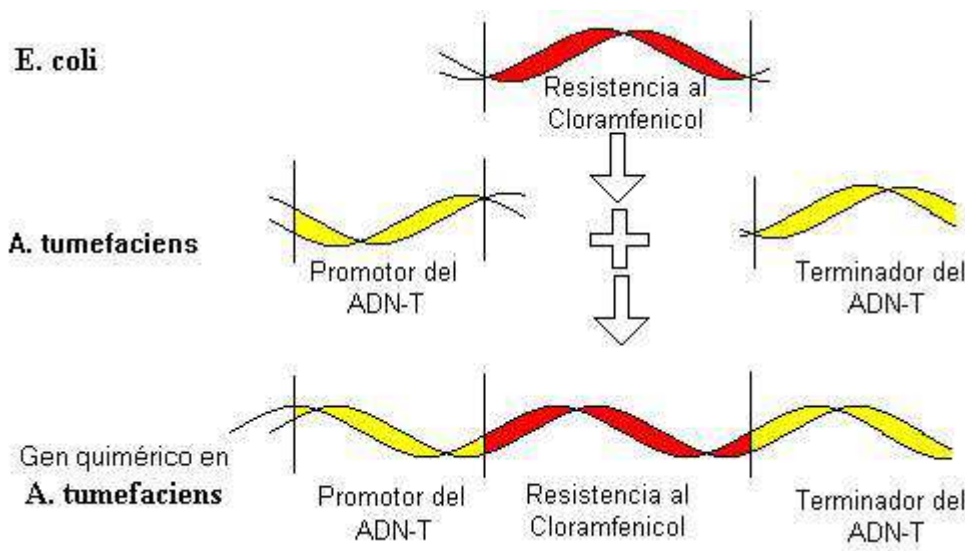


Fig. 2.- Gen quimérico en el plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens*.

De esta manera el gen quimérico funcionó al poder ser detectada la actividad de la cloramfenicol transacetilasa en tejidos tumorales. Aún quedaba una dificultad a salvar: la regeneración de una planta entera a partir de células transformadas. Como las células transformadas eran tumorales eran incapaces de esta regeneración y el siguiente paso consistió en eliminar los genes tumorales del segmento ADN-T. De esta manera se pudo regenerar plantas enteras transgénicas que eran fértiles y con las que se pudo estudiar la

transmisión de caracteres a su descendencia. Además si se escogen los promotores adecuados, es posible expresar genes en órganos específicos, como raíces, semillas y tubérculos.

El gen de la resistencia a antibióticos no tiene interés agronómico por lo que había que identificar, aislar y clonar los genes que pudiesen mejorar las plantas cultivadas. En el caso de caracteres con base genética compleja (donde intervienen numerosos genes), como la resistencia de una planta al frío, es mucho más difícil la manipulación genética que con los caracteres que se expresan como consecuencia de la actividad de un enzima.

El sueño de obtener plantas resistentes a los insectos fitófagos se ha hecho realidad con la obtención de plantas transgénicas portadoras de un gen bioinsecticida. *Bacillus thuringiensis* es una bacteria grampositiva del suelo que en los estadios de esporulación produce unos cristales de proteínas de propiedades insecticidas. **Berliner** en 1909 aisló la bacteria de los cadáveres del gusano de la harina (*Ephesia kuehniella*) procedente de Turingia. Al creerse que la bacteria era el causante de la muerte del insecto, sugirió la idea de recurrir a *B. thuringiensis* para luchar contra la plaga de insectos. Los primeros preparados comerciales aparecieron en 1938. Era práctica habitual en los agricultores tirar a voleo esporas de *B. thuringiensis* sobre los cultivos pero se presentaba el inconveniente de tener que realizar la práctica con una frecuencia mucho mayor que con los insecticidas químicos. A estas proteínas se las denominó *cry* (del inglés crystal) por su capacidad de formar cristales o δ -endotoxinas por su acumulación en el interior de las bacterias y su carácter tóxico. Las proteínas *cry* provocan la lisis de las células intestinales de los insectos. Estos bioinsecticidas se caracterizan por su especificidad, pues sólo son tóxicos en escarabajos, moscas y mariposas (grupos de insectos causantes de la mayoría de las plagas), y porque son prácticamente inocuas en humanos. **E. Schnepf** y **H. Whiteley** aislaron en 1981 el primer gen que codifica una proteína insecticida. Se acababa de sentar las bases para que **M.D. Chilton** en 1983 obtuviera las primeras plantas transgénicas de tabaco utilizando *Agrobacterium tumefaciens*. Le siguieron otros experimentos en diversos laboratorios de Europa y América con el tomate y la patata. Estos experimentos sirvieron para demostrar que la expresión de proteínas insecticidas en plantas era posible y proporcionaba un método eficaz de lucha contra los insectos (fig. 3).

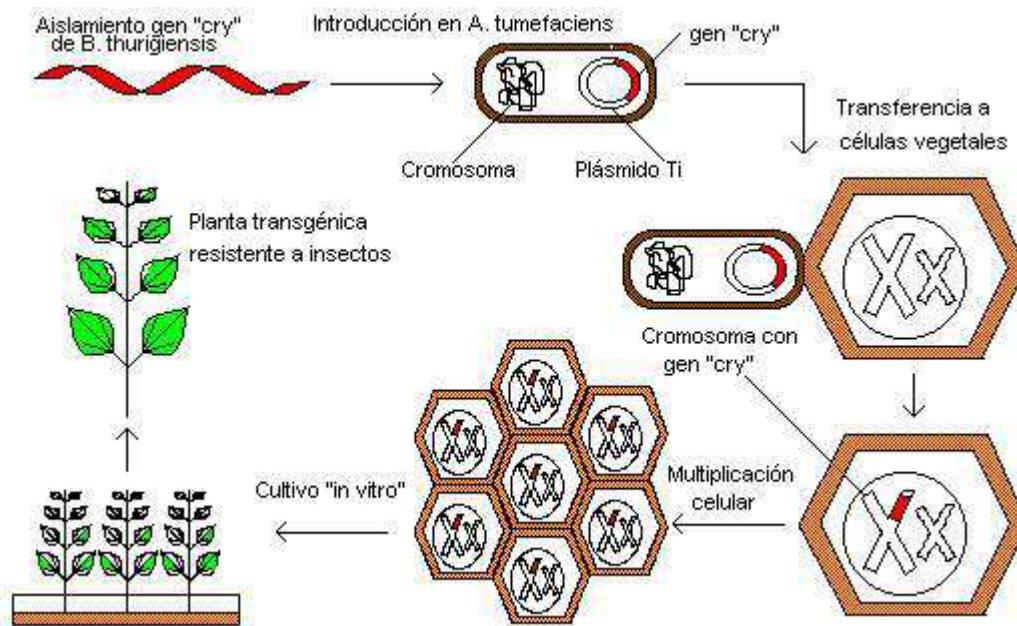


Fig. 3.-Obtención de plantas transgénicas resistentes a los insectos mediante *Agrobacterium tumefaciens*.

Todas estas investigaciones culminaron en 1996 con la entrada en el mercado de plantas transgénicas (algodón, patata y maíz) resistentes a insectos. A todas estas plantas transformadas se las denomina Plantas Bt (de *Bacillus thuringiensis*). En 1997 el 25% de los cultivos transgénicos comercializados portaban genes *cry*. El problema de la aparición de insectos resistentes a estas plantas se prevé solucionarlo con la implantación de distintas proteínas insecticidas en una misma planta transgénica o en plantas transgénicas plantadas en años alternativos.

Transferencia genética con protoplastos

Como la formación de agallas no se producía en prácticamente ninguna monocotiledónea, se investigaron al mismo tiempo otros métodos que permitiesen generar plantas transgénicas en este grupo que abarca a las gramíneas, tan importantes en la nutrición humana. Los protoplastos son células de cualquier tejido vegetal a las que se les ha liberado de la pared celular que es la barrera que impide el paso de grandes moléculas como el ADN. La pared celular se elimina digiriéndola con un enzima. El gen que se ha de transferir se adiciona al medio de cultivo del protoplasto. Si se somete un protoplasto a descargas eléctricas creamos diminutos poros en la membrana por los cuales puede penetrar el ADN. A este método se le denomina electroporación. También podemos ayudar a introducir ADN en un protoplasto empleando sustancias como el polietilenglicol que desestabiliza la membrana celular. Otro método consiste en emplear liposomas que contengan el ADN a transferir. La dificultad principal que plantea este método estriba en el escaso desarrollo de las plántulas generadas a partir de protoplastos.

En 1988 se obtuvo por primera vez cereales transgénicos a partir de la regeneración de protoplastos con genes exógenos en medio de cultivo para células vegetales.

Transferencia genética con el "cañón de partículas" (Biobalística)

Sanford, biólogo molecular de la Universidad de Cornell (EEUU) a principios de los años ochenta estaba buscando el método definitivo para transformar cualquier tipo de plantas. En 1984 estableció contacto con **E. Wolf** director del centro de fabricación de micropartículas de su misma universidad. Entre ambos surgió la idea de bombardear células vegetales con ADN y como éste es una molécula flexible y frágil decidieron enganchar ADN a micropartículas metálicas. En presencia de cloruro de calcio y espermidina el ADN queda adherido a las micropartículas metálicas por interacciones no covalentes. En las primeras pruebas se empleó micropartículas de tungsteno de cuatro micrómetros de diámetro. Las partículas se proyectan sobre el tejido vegetal por el impulso de un chorro de aire comprimido o la explosión de una carga de pólvora (fig. 4). Una vez dentro del tejido vegetal el ADN se desprende de las micropartículas debido a las modificaciones del entorno iónico. Cuando la cantidad de partículas en una célula era superior a once había pocas probabilidades de que la célula sobreviviera. Se pensó que el tungsteno podría ser ligeramente tóxico y por este motivo se emplearon posteriormente micropartículas de oro. Una vez probada la penetración de ADN quedaba por demostrar la transferencia genética. Adhirieron a las micropartículas metálicas ARN del genoma del virus del mosaico del tabaco. Tres días después del bombardeo de células de cebolla se observaron partículas víricas, lo que demostraba que el material genético introducido seguía siendo funcional.

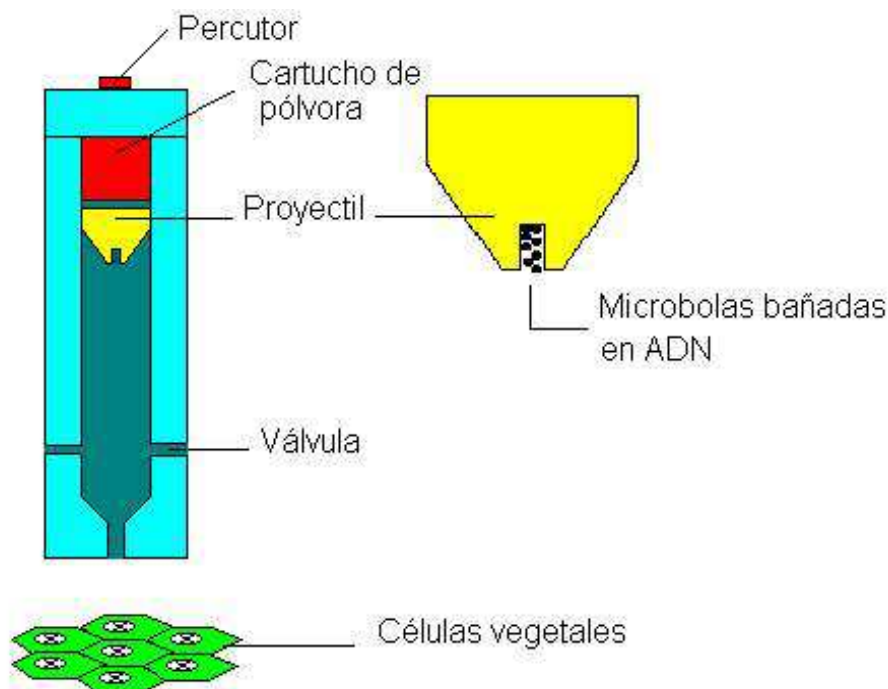


Fig. 4.- Microcañón con partículas metálicas rodeadas de ADN

A partir de numerosos experimentos se cambiaron muchos factores para mejorar el rendimiento: el tamaño de las microbolas, su velocidad, la inmovilización de las células vegetales y la cantidad de ADN transportado. Un problema que plantea esta técnica es que se generan dos tipos de células: las transformadas y las no transformadas dentro de un mismo órgano. Aparecen entonces competiciones entre los dos tipos celulares disminuyendo la eficacia del método. Pero por otra parte se evita el problema mayor que supone la regeneración de plantas a partir de protoplastos.

Otras técnicas de transferencia genética

Se ha intentado la transformación directa depositando una solución de ADN a transferir y de polen sobre los estigmas. De esta manera se supone que el ADN penetraría a través del tubo polínico durante su desarrollo en el estigma. Los raros éxitos conseguidos no han superado, hasta ahora, las pruebas de la expresión de los genes en la descendencia.

También se ha intentado inyectar en una célula vegetal una solución de ADN. La microinyección se realiza bajo control microscópico y con microcapilares. La microinyección resulta poco efectiva porque las puntas de los microcapilares se rompen y se obstruyen con facilidad además se necesitan inyectar al menos 10000 células, una a una, para tener la seguridad de que al menos una de ellas ha incorporado el material genético.

Especies transformadas mediante ingeniería genética

Hasta 1997 se habían realizado en el mundo, unos 3650 experimentos de campo con cultivos transgénicos y con resultados positivos, de los cuales la mayoría corresponden a las especies que se indican en la tabla 1. Aproximadamente la cuarta parte de estos cultivos se han realizado con genes *cry*.

Especie	Experimentos de campo [%]
Maíz	28
Nabo	18
Patata	10
Tomate	9,5

Soja	7,5
Algodón	6
Tabaco	4,5
Total	83,5

Tabla 1.-Especies comerciales más importantes en las que se han conseguido plantas transgénicas y porcentaje de experimentos de campo.

Las especies vegetales transformadas por ingeniería genética hasta el año 1999 se relacionan en la tabla 2. Esta relación se ha de actualizar cada año por la gran cantidad de experimentos que se realizan en todo el mundo dedicados a la creación de nuevas aplicaciones comerciales.

Nombre común	Método de transformación	Nombre común	Método de transformación
Álamo	Agrobacterium	Lechuga	Agrobacterium
	BIOBALÍSTICA	Lino	Agrobacterium
Albaricoque	Agrobacterium	Maíz	Agrobacterium
Alerce	Agrobacterium		BIOBALÍSTICA
Alfalfa	Agrobacterium		ELECTROPORACIÓN
Algodón	Agrobacterium	Manzana	Agrobacterium
Apio	Agrobacterium	Melocotón	Agrobacterium
Arándano	Agrobacterium	Melón	Agrobacterium
	BIOBALÍSTICA	Mostaza	Agrobacterium
Arroz	Agrobacterium	Nabo	Agrobacterium
	BIOBALÍSTICA		ELECTROPORACIÓN
	ELECTROPORACIÓN		MICROINYECCIÓN
	MICROINYECCIÓN	Patata	Agrobacterium
Brócoli	Agrobacterium	Papaya	BIOBALÍSTICA
Caña de azúcar	BIOBALÍSTICA	Pepino	Agrobacterium
Ciruelo	Agrobacterium	Petunia	Agrobacterium
Cítricos	Agrobacterium	Rábano	Agrobacterium
	POLIETIENGLICOL	Remolacha	Agrobacterium

Clavel	Agrobacterium	Soja	Agrobacterium
Crisantemo	Agrobacterium		BIOBALÍSTICA
Espárrago	Agrobacterium	Tabaco	Agrobacterium
Frambuesa	Agrobacterium		BIOBALÍSTICA
Fresa	Agrobacterium		ELECTROPORACIÓN
	ELECTROPORACIÓN		POLIETIENGLICOL
Girasol	Agrobacterium	Trébol	Agrobacterium
Guisante	Agrobacterium	Trigo	BIOBALÍSTICA
Hinojo	Agrobacterium	Zanahoria	Agrobacterium
Kiwi	Agrobacterium		

Tabla 2.-Especies vegetales transformadas y comercializadas

Limitaciones actuales en la creación de plantas transgénicas

De lo dicho hasta ahora se desprende un gran optimismo en los avances de la ingeniería genética vegetal, pero no hemos de olvidar que actualmente existen unas limitaciones técnicas que hay que tener presente. Estas limitaciones consisten en que sólo se pueden modificar características controladas por no más de tres a cinco genes, que algunos cultivos no responden a los métodos actuales de transferencia de genes y que no siempre se pueden aislar genes de interés. Además los retrasos en la comercialización pueden deberse a problemas de índole no técnica, como la preocupación de los consumidores por la seguridad de los alimentos y el impacto ambiental.

Beneficios y riesgos en el desarrollo y aplicación del mejoramiento de cultivos por transferencia de genes

Los beneficios que esgrimen los científicos dedicados a la investigación y desarrollo de las plantas transgénicas hacen referencia sobretodo a los incrementos en la producción de alimentos. En un momento en que la población mundial ronda los 6000 millones de personas y teniendo en cuenta que si el crecimiento de la población continúa con el ritmo actual del 2%, la población se duplicará de aquí a unos 35 años y que la superficie de los suelos agrícolas disminuye en un 0.1% anual, se ve la necesidad de incrementar la producción agrícola de alimentos.

Otros beneficios se derivarían de la disminución del uso de plaguicidas químicos al disponer de cultivos que no requieran estas sustancias para detener las plagas. Los plaguicidas químicos actúan sobre un amplio espectro de especies agresoras por lo que suponen un riesgo sobre la fauna y flora silvestre, siendo también productos tóxicos

para el cuerpo humano. Actualmente se emplea alrededor de 10 millones de toneladas de insecticidas en todo el mundo y a pesar de todo se pierde un 35% de las cosechas mundiales por culpa de los insectos.

El problema clave de las investigaciones de los riesgos en el medio ambiente consiste en determinar de qué manera un transgén puede modificar el equilibrio del ecosistema en el que se introduce y cuáles serían las consecuencias de tal modificación. Por ejemplo, las colzas transgénicas sintetizan proteínas (glucanasa, quitinasa) capaces de destruir la pared celular de hongos patógenos, o sustancias que inhiben los enzimas digestivos de los insectos devoradores. Las abejas que liban las flores de la colza podrían quedar afectadas por la quitinasa ya que esta sustancia degradaría la quitina de la cutícula de la abeja. Los experimentos llevados a cabo, por organismos oficiales europeos, para evaluar este riesgo han demostrado que no hay motivos de preocupación por falta de riesgo significativo.

Se han creado organismos oficiales en distintos países que experimentan las nuevas biotecnologías para evaluar los riesgos de las plantas transgénicas y que pueden prohibir determinadas experimentaciones en el campo. Estos organismos para muchos científicos son una garantía de seguridad. Pero los movimientos ecologistas piensan lo contrario porque el transgén es un gen extraño al ecosistema y no ha sido sometido a presión selectiva del medio. Un ejemplo muy invocado es el del gen que determina la síntesis de una toxina dirigida contra los insectos parásitos de la planta que podría favorecer la aparición de razas de insectos resistentes a dicha toxina.

El gen de la resistencia a herbicidas no sólo puede ser transportado por el polen a especies silvestres y próximas genéticamente si no también las bacterias del suelo (*Agrobacterium*, *Pseudomonas*, etc.) podrían transmitir el transgén a otros microorganismos del suelo o a otras plantas. El proceso sería el siguiente: cuando mueren las células de las raíces, pueden dejar en el suelo fragmentos de su material genético. Este material podría penetrar en bacterias e integrarse en su cromosoma mediante el conocido fenómeno de la transformación. La bacteria *Agrobacterium tumefaciens* es capaz de inyectar una parte de su material genético a una planta. ¿Pudiese ser este microorganismo el vector de transmisión de un transgén en la naturaleza?

Los ecologistas piensan que los intereses económicos de las empresas que explotan la ingeniería genética son tan importantes que no se respeta el tiempo necesario para una evaluación científica de los riesgos. También se ha criticado que se puedan evaluar los riesgos con experimentos a pequeña escala pues no se puede oponer ninguna barrera a la propagación de las especies.

También hemos de tener presente que las normativas sobre el control de las pruebas es muy diferente de un país a otro. Existen países como China o Canadá sin reglamentación alguna lo que podría llevar a los países productores a la realización de las pruebas en países con normativas más tolerantes.

También acusan los ecologistas que la investigación en este campo de la ingeniería genética esté principalmente en manos de grandes compañías que priman el rendimiento económico sin tener presente los posibles riesgos. Otra acusación contra estas compañías se refiere a la especulación que realizan sobre las patentes de plantas

transgénicas que implican un dominio a escala mundial de unas pocas empresas y de unos pocos países preparados tecnológicamente. Es práctica habitual en las compañías propietarias de las patentes que exijan a los agricultores que compren sus semillas el compromiso de volver a comprarlas en cosechas sucesivas o la venta de semillas preparadas genéticamente para que su descendencia no sea fértil y así obligar al agricultor a comprar de nuevo semillas.

Hemos de concluir que en el estado actual de las investigaciones no existe consenso, entre los científicos que trabajan en este campo y el movimiento ecologista, respecto a los riesgos potenciales ligados a la diseminación de las plantas transgénicas.

Se puede explicar en parte el recelo de los ecologistas y de muchos consumidores por la aparición de esta nueva tecnología aplicada a los alimentos en una época en que surgieron graves problemas de salud pública a escala mundial como el SIDA, la enfermedad de las vacas locas, y en nuestro país la intoxicación masiva con aceite de colza.

Bibliografía

- Estruch, J.J.** (1998): Plantas resistentes a insectos. *Investigación y Ciencia*. Nº 257, Febrero, pp. 46-53. Edit. Prensa Científica, S.A.. Barcelona.
- Franché, C.** (1991): ¿Hacia una transformación universal del ser vivo?. *Mundo Científico*. Nº 112, Abril, pp. 424-428. Edit. Fontalba. Barcelona.
- Gasser, C.S. & Fraley, R.** (1992): Cultivos transgénicos. *Investigación y Ciencia*. Nº 191, Agosto, pp. 64-70. Edit. Prensa Científica, S.A.. Barcelona.
- Habert, P.** (1995): La Ingeniería Genética probada en los campos. *Mundo Científico*. Nº 153, Enero, pp. 30-36. Edit. Fontalba. Barcelona.
- Leroy, P.** (1993): El etileno y los tomates. Problemas de maduración. *Investigación y Ciencia*. Nº 196, Enero, pp. 82-83. Edit. Prensa Científica, S.A.. Barcelona.
- Nieto-Jacobo, M. F. & alii.** (1999): Plantas transgénicas. *Investigación y Ciencia*. Nº 268, Enero, pp. 70-80. Edit. Prensa Científica, S.A.. Barcelona.
- Ronald, P. C.** (1998): Creación de un arroz resistente a las enfermedades. *Investigación y Ciencia*. Nº 256, Enero, pp. 68-73. Edit. Prensa Científica, S.A.. Barcelona.
- Schöpke, C. & alii.** (1997): Mejora vegetal. Las posibilidades de la yuca transgénica. *Investigación y Ciencia*. Nº 245, Febrero, pp. 35-36. Edit. Prensa Científica, S.A.. Barcelona.
- Tempé, J. & Schell, J.** (1987): La manipulación de las plantas. *Mundo Científico*. Nº 71, Julio/Agosto, pp. 792-801. Edit. Fontalba. Barcelona.

CRONOLOGÍA DE LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS

1970	Se planteó la hipótesis de que la enfermedad de las plantas denominada <i>agalla del cuello</i> podría ser producida por la transferencia de material genético entre una bacteria, <i>Agrobacterium tumefaciens</i> y células vegetales.
1973	Schell anunció el descubrimiento en cepas de <i>Agrobacterium tumefaciens</i> de un plásmido de un tamaño jamás observado hasta entonces y que el plásmido llamado Ti (del inglés Tumour inducing) es portador del carácter patógeno.

1981	E. Schnepf y H. Whiteley aislaron el primer gen que codifica una proteína insecticida.
1983	M.D. Chilton introdujo en la planta del tabaco un gen bacteriano que confería resistencia al antibiótico cloramfenicol, obteniendo las primeras plantas transgénicas.
1987	Se aplica el método del <i>microcañón</i> o cañón de partículas ideado por Sanford y Wolf
1988	Mediante la técnica de los protoplastos se consiguió por primera vez cereales transgénicos.
1996	Las investigaciones culminaron con la entrada en el mercado de plantas transgénicas (algodón, patata y maíz) resistentes a insectos.
1997	Hasta este año se habían realizado unos 3650 experimentos de campo con cultivos transgénicos y con resultados positivos.