

# “PLANTAS TRANSGÉNICAS”

BIOTECNOLOGÍA Y ALIMENTACIÓN

Trinidad Sánchez Martín

Junio 2008

# Índice

1. Introducción
2. ¿Qué son transgénicos? Generalidades
3. Procedimientos para la obtención de plantas transgénicas
  - 3.1. Generalidades
  - 3.2. Descripción de las técnicas
    - 3.2.1. *Transferencia genética con agrobacterium tumefaciens*
    - 3.2.2. *Transferencia genética con protoplastos*
    - 3.2.3. *Transferencia genética con el "cañón de partículas" (biobalística)*
    - 3.2.4. *Otras técnicas de transferencia genética*
4. Especies transformadas mediante ingeniería genética
5. Beneficios y riesgos en el desarrollo y aplicación del mejoramiento de cultivos por transferencia de genes
  - 5.1. Beneficios de las plantas transgénicas
    - 5.1.1. *Resistencia a insectos*
    - 5.1.2. *Resistencia a herbicidas*
    - 5.1.3. *Mejora de la productividad y producción*
    - 5.1.4. *Mejora de la calidad nutritiva*
    - 5.1.5. *Control de enfermedades virales*
    - 5.1.6. *Tolerancia al estrés ambiental*
    - 5.1.7. *Producción de frutos más resistentes*
    - 5.1.8. *Producción de plantas bioreactoras*
    - 5.1.9. *Fijación de nitrógeno*
    - 5.1.10. *Mejora con fines ornamentales*
    - 5.1.11. *Producción de fármacos y vacunas*
  - 5.2. Desventajas de las plantas transgénicas
    - 5.2.1. *Los insecticidas Bt y similares*
    - 5.2.2. *Producción de súper plagas*
    - 5.2.3. *Resistencia a antibióticos*
    - 5.2.4. *Inestabilidad genética*
    - 5.2.5. *Interacción ecológica negativa*
    - 5.2.6. *Riesgo a la biodiversidad*
    - 5.2.7. *Transferencia horizontal de genes*
    - 5.2.8. *Aparición de alergias*
    - 5.2.9. *Medio ambiente*
6. Los transgénicos y las transnacionales
7. Cultivo de plantas transgénicas en el mundo
8. Transgénicos y consumidores
9. Bibliografía

# PLANTAS TRANSGÉNICAS

## 1. 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 de cultivo dejó de ser meramente empírica y se convirtió en científica. Las variedades se seleccionan por ciclos de polinización cruzada (hibridación) y selección. Se han ido creando variedades selectas que han terminado desplazando a las antiguas. Por ejemplo, el trigo de invierno es prácticamente la única variedad empleada en Occidente para la fabricación del pan.

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*. Surge el término de transgénicos u organismos genéticamente modificados (OGM), que son seres vivos a los cuales se incorpora uno o más genes de otras especies, a fin de conferirles determinadas características nuevas.

Las plantas son un grupo ampliamente estudiado en el campo de la biotecnología vegetal y en la actualidad existe una gran cantidad de plantas transgénicas producidas con diferentes fines.

Por otro lado, El descubrimiento de las enzimas de restricción y el desarrollo de la tecnología de DNA recombinante ha propiciado la aplicación de diferentes tecnologías de producción de plantas transgénicas con una amplia variedad de aplicaciones. 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 son un grupo ampliamente estudiado en el campo de la biotecnología vegetal y en la actualidad existe una gran cantidad de plantas transgénicas producidas con diferentes fines:

- 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.

Si bien inicialmente los transgénicos han sido concebidos para proporcionar beneficios a la humanidad y surgir como una alternativa al hambre en el mundo, en la actualidad son fuertemente cuestionados y criticados por los efectos negativos que potencialmente tienen sobre el ambiente y la salud, y por el control de mercado que ejercen las compañías multinacionales dueñas de las patentes.

El evaluar la seguridad de la ingeniería genética en plantas es todavía algo incierto ya que los científicos controlan los efectos primarios (o lo que se quiere conseguir), pero no pueden controlar los efectos secundarios (mediados por procesos naturales de recombinación y mutación), que dan lugar a resultados no deseados e impredecibles. Las compañías transnacionales que controlan el mercado de los transgénicos en la actualidad, hablan de los efectos primarios de sus nuevas y privilegiadas variedades, pero las denuncias de efectos nocivos a la salud y el ambiente por la ingesta de alimentos transgénicos, que se venden de manera abierta, aumenta día a día.

La posición a adoptar respecto a los cultivos transgénicos no es sencilla y tampoco existe una posición extrema y única, hay muchas ventajas y desventajas en las plantas transgénicas, y éstas se deben ajustar a las características y necesidades de cada país, por lo que el balance global que se haga al respecto debe contemplar las consideraciones del caso particular que se trate.

## **2. ¿QUÉ SON TRANSGÉNICOS? GENERALIDADES**

Los transgénicos son organismos a los cuales se han introducido uno o más genes provenientes de otra especie. Las plantas transgénicas poseen genes de todas las procedencias: de otras plantas, de animales, de bacterias, de virus y de hongos, y muchas veces poseen combinaciones de ellos, ya que se necesitan armar complejos sistemas moleculares para garantizar la expresión de los genes foráneos.

En las plantas transgénicas se han usado genes de plantas, animales y bacterias para conferirles características puntuales como resistencia a químicos, a condiciones ambientales adversas, a insectos, etc. a los cuales se añaden genes promotores y regulares de elevada expresión (llamados convencionalmente *enhancers*) provenientes de virus, puesto que éstos tienen mayor capacidad de expresión que los celulares (por las características infecciosas de los virus, que hacen que el sistema de expresión tenga prioridad con su genoma antes que con el de la célula) y de esta forma se garantiza que el material introducido se transcriba y se traduzca. Para la construcción de transgénicos además se usan genes de resistencia a

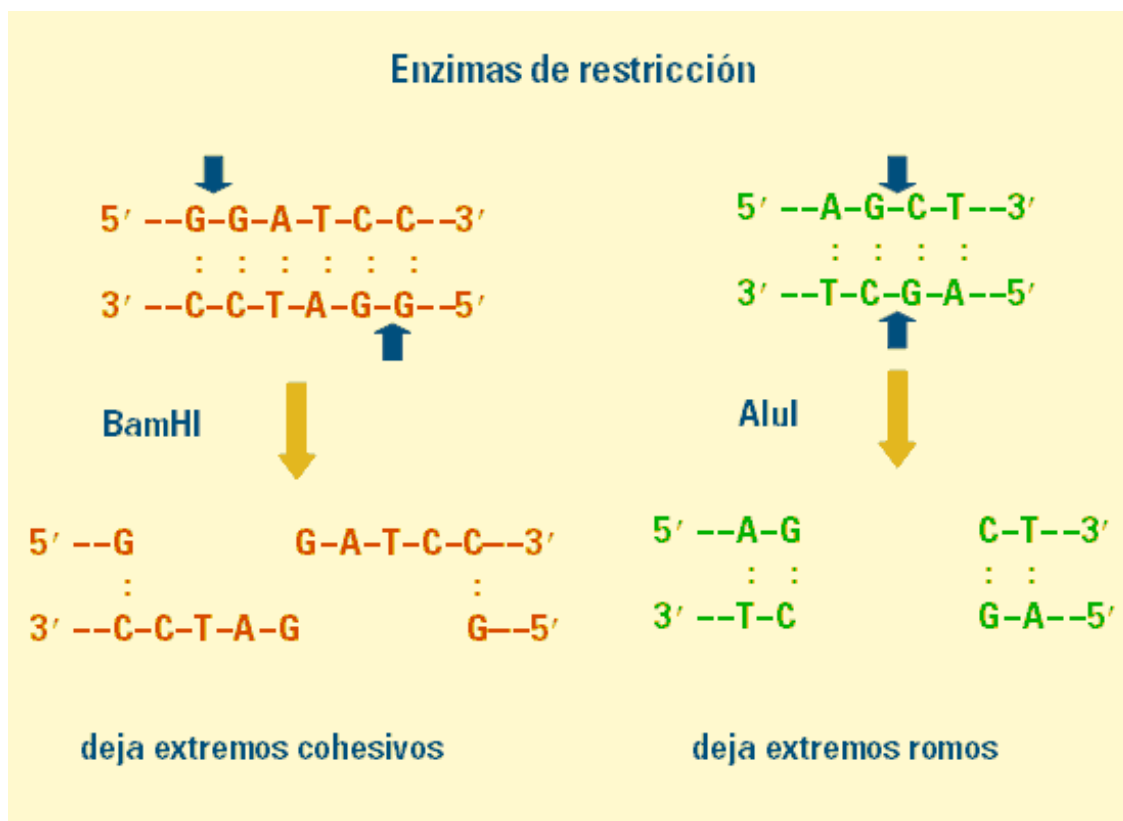
antibióticos que sirven como marcadores de selección, para separar las células transformadas de las no afectadas.

El desarrollo de la ingeniería genética (también llamada metodología del ADN recombinante) fue posible gracias al descubrimiento de las enzimas de restricción y de los plásmidos.

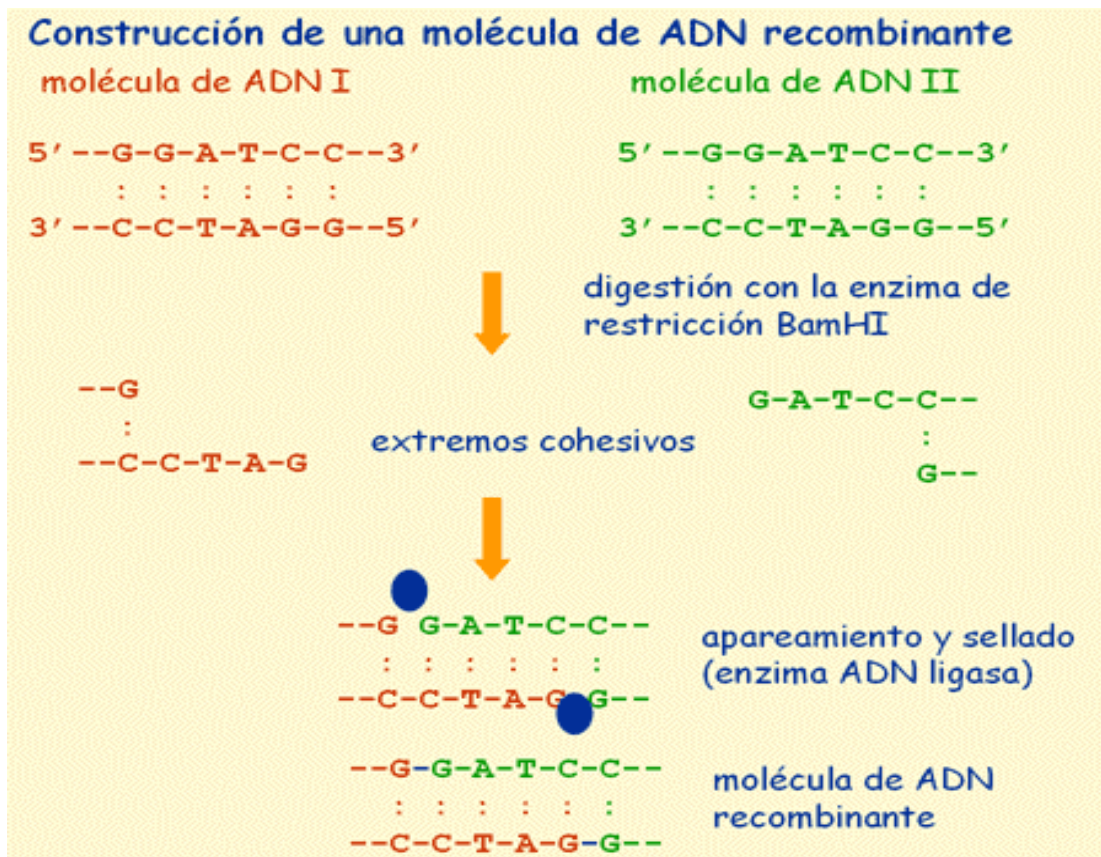
1) **Las enzimas de restricción** reconocen secuencias determinadas en el ADN. De esta manera, conociendo la secuencia de un fragmento de ADN es posible aislarlo del genoma original para insertarlo en otra molécula de ADN. Hay muchas enzimas de restricción obtenidas a partir de bacterias y que sirven como herramientas para la ingeniería genética

Las enzimas de restricción (Fig 1) reconocen secuencias de 4, 6 o más bases y cortan generando extremos romos o extremos cohesivos. Estos extremos, generados en diferentes moléculas de ADN, pueden sellarse con la enzima ADN ligasa y generar así una molécula de ADN nueva, denominada recombinante (Fig 2).

**Figura 1:** Enzimas de restricción

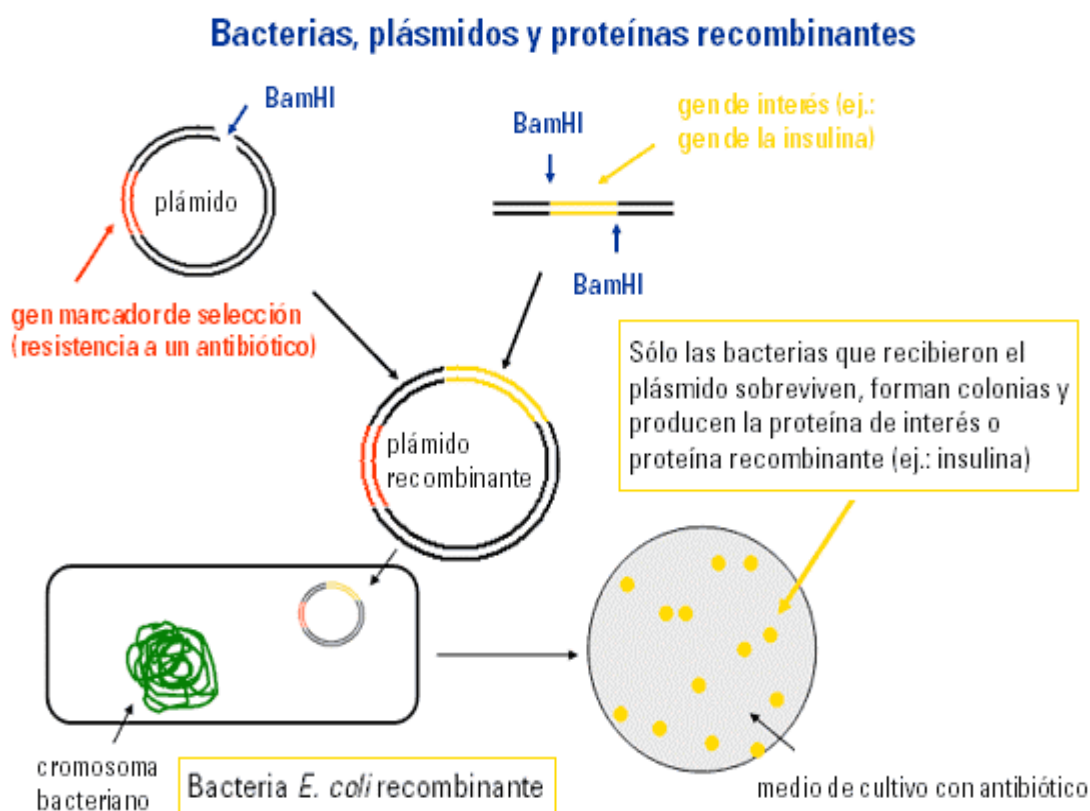


**Figura 2:** Construcción de una molécula de ADN recombinante.



**2) Los plásmidos** son moléculas de ADN circulares, originalmente aisladas de bacterias y que pueden extraerse de las mismas e incorporarse a otras, a través del proceso de transformación. Los plásmidos fueron modificados por los investigadores para ser empleados como “vectores”. Así, el gen de interés puede insertarse en el plásmido-vector e incorporarse a una nueva célula. Para seleccionar las células (bacterias o células animales o vegetales) que recibieron el plásmido, éste lleva, además del gen de interés (por ej., el gen de la insulina humana), un gen marcador de selección (por. ej., de resistencia a un antibiótico), que le otorga a la célula que lo lleva la capacidad de sobrevivir en un medio de cultivo selectivo (medio con antibiótico, en este ejemplo). Las células que sobreviven se dividen y generan colonias, formadas por bacterias idénticas. Estas bacterias se denominan recombinantes o genéticamente modificadas (Fig 3).

**Figura 3:** Bacterias, plásmidos y proteínas recombinantes



El plásmido recombinante puede aislarse de estas colonias y transferirse a otras células.

Por esta metodología es posible introducir genes de interés en todo tipo de células, empleando los vectores y las técnicas propias de cada sistema. Podemos entonces generalizar los pasos de la ingeniería genética de la siguiente manera:

- 1) Identificar un carácter deseable en el organismo de origen.
- 2) Encontrar el gen responsable del carácter deseado (gen de interés).
- 3) Combinar dicho gen con otros elementos necesarios (vector) para que éste sea funcional en el organismo receptor.
- 4) Transferir el gen de interés, previamente introducido en el vector adecuado, al organismo receptor.
- 5) Crecer y reproducir el organismo receptor, ahora modificado genéticamente.

Las plantas transgénicas inicialmente se crearon como modelos para explicar los circuitos de regulación genética y se probó la expresión de diversos tipos de genes en ellas. El ejemplo más conocido es una planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*), que expresa el gen de la luciferasa de las luciérnagas, dando como resultado una planta luminiscente. Estos sistemas transgénicos ayudaron a dilucidar los sistemas de regulación de la expresión génica en eucariotas, este hecho abrió las puertas a la elaboración de plantas transgénicas, tanto con fin de aplicarlas a la agricultura, como al comercio y medicina.

Posteriormente se dedicaron los esfuerzos, al aislamiento y caracterización, de genes de diferentes fuentes biológicas, para determinados fines agronómicos. Los primeros trabajos en el campo radicó, en el

aislamiento de los genes de las proteínas Cry de *Bacillus thuringensis*, una bacteria entomopatógena, y son usadas en las plantas transgénicas como un bioinsecticida, llamado convencionalmente Bt; también se trabajó en la construcción de genes que confieran a las plantas resistencia a herbicidas. El principal trabajo, en lo que a resistencia a herbicidas se refiere, se hizo con el glifosato, aunque también se trabajaron otros herbicidas como el glufosinato. Las plantas con la tecnología RoundupReady (RR) de Monsanto son resistentes al glifosato de la misma empresa, denominado Roundup y sus variedades mejoradas.

La resistencia a Roundup está dada por la expresión de una proteína bacteriana necesaria para la síntesis de enzimas fotosintéticas, la proteína de origen celular es inhibida por el herbicida, pero no la de origen bacteriano.

En la actualidad, las nuevas ofertas de Monsanto muestran plantas de maíz, algodón y soya que poseen ambas características: la resistencia a insectos y la tolerancia a herbicidas. Otras empresas han generado plantas similares y con otras características, como el tomate "Flavr-Savr de Calgene, el cual no se ablanda y puede ser almacenado por mucho tiempo, se logro mediante la tecnología de RNA antisentido, la cual inhibe la proteína responsable de la senescencia del fruto maduro. Las plantas transgénicas no sólo se utiliza para cultivos, sino que también se han utilizado para la producción de sustancias, como metabolitos y productos secundarios importantes. Uno de los avances más impresionantes de la biotecnología vegetal ha sido la posibilidad de expresar vacunas contra una amplia variedad de enfermedades en las plantas, incluso se han logrado expresar anticuerpos de reconocimiento y prevención del cáncer.

Hoy, la ingeniería genética se suma a las prácticas convencionales como una herramienta más para mejorar o modificar los cultivos vegetales.

**Figura 4:** Comparación entre cruzamiento tradicional y biotecnología





En este sentido, esta metodología ofrece tres ventajas fundamentales respecto a las técnicas convencionales de mejora genética basadas en la hibridación:

+Los genes que se van a incorporar pueden provenir de cualquier especie, emparentada o no (por ejemplo, un gen de una bacteria puede incorporarse al genoma de la soja).

+En la planta mejorada genéticamente se puede introducir un único gen nuevo preservando en su descendencia el resto de los genes de la planta original.

+Este proceso de modificación demora mucho menos tiempo que el necesario para el mejoramiento por cruzamiento.

Podemos así modificar propiedades de las plantas de manera más amplia, más precisa y más rápida.

### **3. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE PLANTAS TRANSGÉNICAS**

#### **3.1. GENERALIDADES**

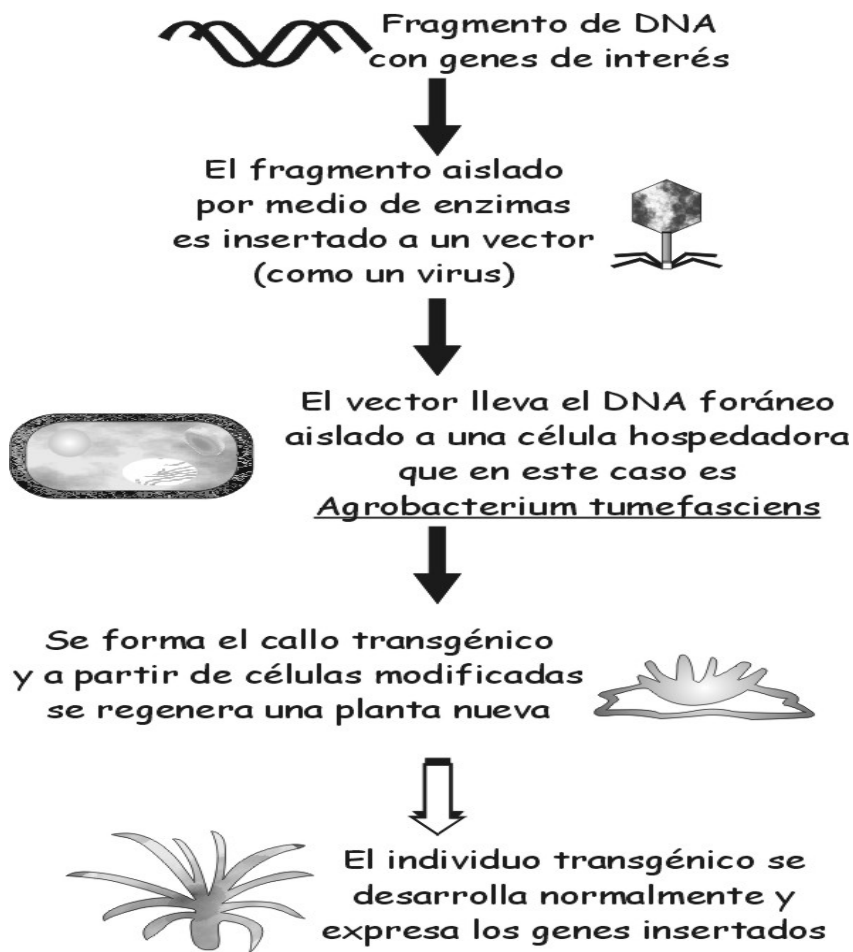
Principalmente se emplean tres métodos para introducir genes ajenos en una planta. Todos estos métodos obtuvieron por primera vez, con más o menos éxito, plantas transgénicas en la década de los ochenta y muchas de ellas se comercializaron en los noventa.

**a)** El método se basa en **el empleo de un vector vivo** que lleve el material genético a la célula blanco. Existen dos formas de introducir material genético por esta vía:

1) Mediante **virus** genéticamente modificados (que llevan los genes de interés en lugar de los genes estructurales), los cuales insertan su genoma en el DNA celular para la replicación y de esta manera se consigue la expresión de los genes foráneos.

2) 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. Este gen se integra en el genoma de la planta provocándole un tumor o agalla. Lo que se hace con *A. tumefaciens*, es crear una cepa recombinante de ésta (con los genes de interés) y se induce la formación de tumores, en los cuales se encuentran células modificadas por la interacción, se aíslan estas células y a partir de ellas se genera el individuo transgénico (Fig 5). 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.

**Figura 5:** Resumen del proceso de DNA recombinante para crear plantas transgénicas



b) 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. Puede realizarse una transferencia directa de genes mediante la fusión de protoplastos (la célula vegetal sin la pared) mediante químicos como el PEG (polietilenglicol), de donde se obtienen híbridos nucleares y luego células transgénicas por recombinación; para este in también puede emplearse liposomas.

c) La **biolística** es otro método difundido, consiste en bombardear las células con partículas metálicas microscópicas recubiertas del DNA que se desea introducir. Si bien esta técnica ha dado buenos resultados, tiene un componente aleatorio de efecto muy fuerte que da un amplio margen a resultados impredecibles y un incremento significativo en la tasa de mutación celular. Igualmente costosos, pero con menos problemas de efecto aleatorio, están los métodos de inyección (micro y macroinyección), estos métodos consisten en inyectar el material genético foráneo al núcleo de la célula mediante equipo sofisticado. Los métodos de microinyección tienen mayor eficacia que los de macroinyección por la focalización dirigida de la inserción. Adicionalmente se emplean otros métodos directos como la

transformación del polen y la electroporación, pero no son ampliamente utilizados. *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.

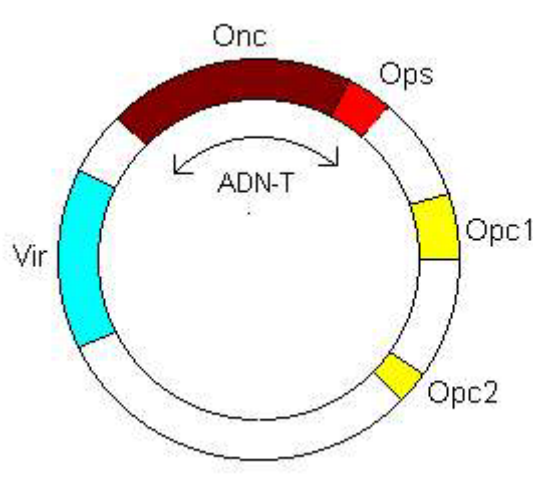
### 3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNICAS

#### 3.2.1. *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. 6).

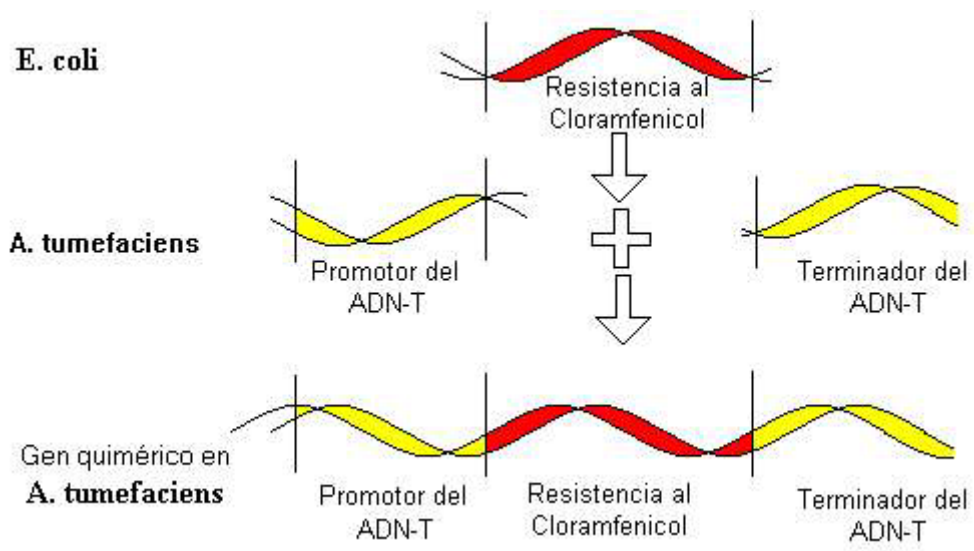
**Figura 6:** Plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens*



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. 7).

**Figura 7:** Gen quimérico en el plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens*.



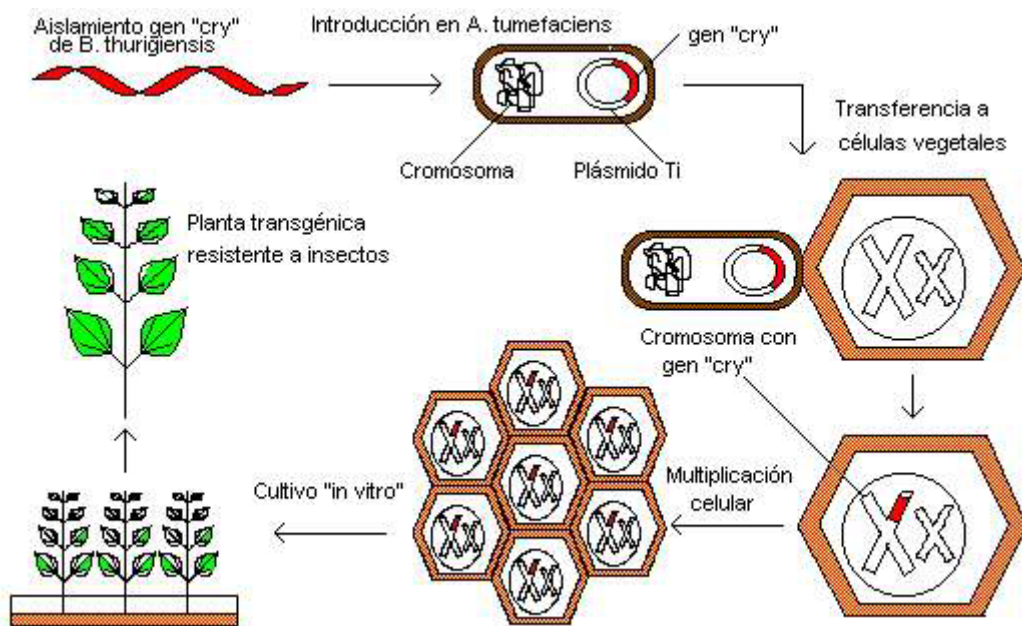
De esta manera el gen quimérico funcionó al poder ser detectada la actividad de la cloramfenicol transcetilasa en tejidos tumorales. Aún quedaba una dificultad a salvar: la regeneración de una planta entera a partir de células transformadas. Como las células transformadas eran tumorales eran incapaces 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 (*Ephestia 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  $\delta$ -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 (Figura 8).

**Figura 8:** 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.

### 3.2.2. 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

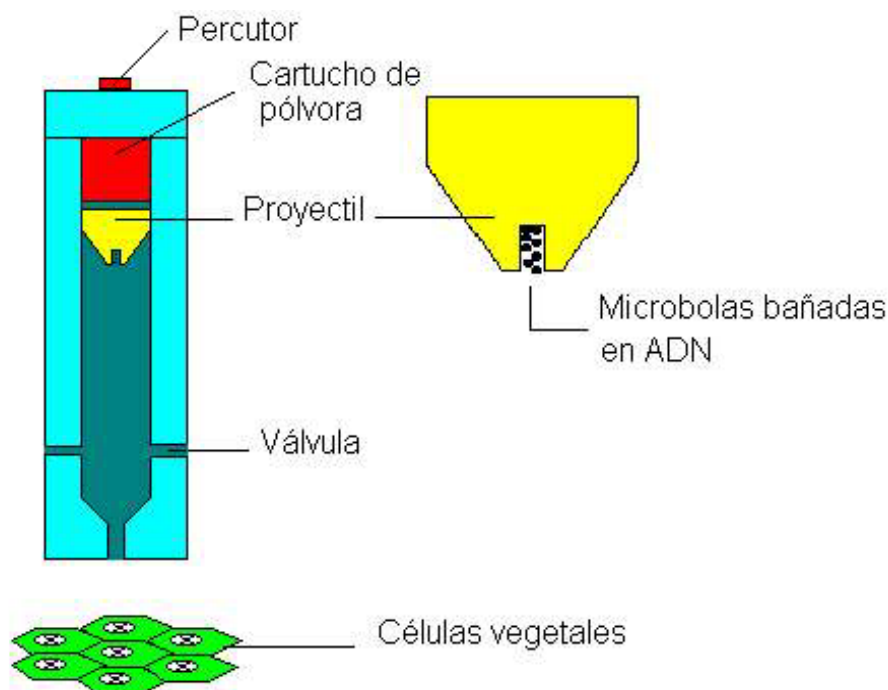
cualquier tejido vegetal a las que se les ha liberado de la pared celular que es la barrera que impide el paso de grandes moléculas como el ADN. La pared celular se elimina digiriéndola con un enzima. El gen que se ha de transferir se adiciona al medio de cultivo del protoplasto. Si se somete un protoplasto 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.

### *3.2.3. 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. 9). 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.

**Figura 9:** Microcañón con partículas metálicas rodeadas de ADN



A partir de numerosos experimentos se cambiaron muchos factores para mejorar el rendimiento: el tamaño de las microbolitas, 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.

#### 3.2.4. 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.

Después de lo expuesto podemos decir que el objetivo de todas estas técnicas es la creación de una planta transgénica. El proceso completo lo podemos esquematizar en la siguiente figura.



# ¿Cómo se transforma una planta?

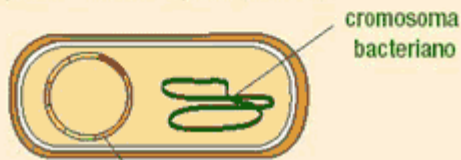
## Método con *Agrobacterium*

- 1 Construcción de un plásmido con el Gen de interés

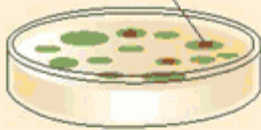


- 2 Introducción del plásmido en *Agrobacterium* \*

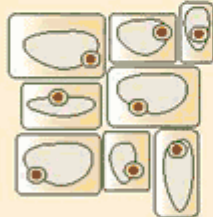
\* bacteria que habita comúnmente en el suelo y que introduce ADN en las plantas naturalmente.



- 3 Incorporación del Gen de interés dentro del cromosoma vegetal



- 4 Multiplicación Celular



- 5 Regeneración y selección, de plántulas transformadas \*



\*aquellas que recibieron el gen de interés

- 6 Transferencia de las plántulas seleccionadas al suelo



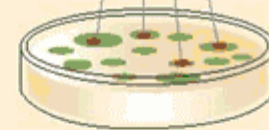
## Método con Cañón de Partículas

- 1 Micropartículas recubiertas de ADN que contiene el gen deseado



Cañón de Partículas

- 2 Bombardeo de Micropartículas



#### 4. 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*.

<b>Especies transgénicas</b>	
<b>Especie</b>	<b>Experimentos de campo [%]</b>
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.

En la tabla 2, se realiza una relación de las especies vegetales transformadas por ingeniería genética hasta el 1999. Cada año, se ha de actualizar, como consecuencia de la gran cantidad de experimentos que se realizan en todo el mundo dedicado a la creación de nuevas aplicaciones comerciales.

<b>Nombre común</b>	<b>Método de transformación</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Método de transformación</b>
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		Agrobacterium
Frambuesa	Agrobacterium		BIOBALÍSTICA

Fresa	Agrobacterium	Tabaco	ELECTROPORACIÓN
	ELECTROPORACIÓN		POLIETIENGLICOL
Girasol	Agrobacterium	Trébol	Agrobacterium
Guisante	Agrobacterium	Trigo	BIOBALÍSTICA
Hinojo	Agrobacterium	Zanahoria	Agrobacterium
Kiwi	Agrobacterium		

**Tabla 2:** Especies vegetales transformadas y comercializadas

## **5. BENEFICIOS Y RIESGOS EN EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE CULTIVOS POR TRANSFERENCIA DE GENES**

Las plantas transgénicas son un claro ejemplo de que todas las cosas tienen aspectos buenos y aspectos malos, pero en este caso las caras de la moneda son muy variadas y en algunos casos puntuales, diametralmente opuestas. A continuación se presenta un resumen de las principales ventajas y desventajas de las plantas transgénicas actuales, en este resumen se verá que una misma característica puede ser tanto una ventaja como una desventaja, dependiendo el punto de vista bajo el que se mire.

### **5.1. BENEFICIOS DE LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS**

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.

#### **5.1.1. Resistencia a insectos.**

La introducción de genes Bt en las plantas hace que éstas sean "naturalmente" resistentes a las principales plagas que atacan los cultivos y producen grandes pérdidas en la producción. La ventaja de las proteínas tóxicas Bt (provenientes de los genes cry) es que atacan solamente a ciertos grupos sensibles a ellas y no afectan al resto de la entomofauna relacionada a las plantas del cultivo.

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. Puesto que la planta por si misma es capaz de envenenar a los insectos, el uso de agrotóxicos se hace innecesario, reduciendo de esta manera el impacto sobre las plantas, la entomofauna y el suelo, y reduciendo el costo de producción en lo que a plaguicidas se refiere. 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.

#### **5.1.2. Resistencia a herbicidas.**

La construcción de plantas resistentes al efecto de los herbicidas, posibilita eliminar con facilidad las malezas que crecen en los campos de cultivo. La selectividad de resistencia hace que sea posible aplicar el herbicida a todo el campo de cultivo y matar a las malezas pero no a las plantas de interés económico.

#### **5.1.3. Mejora de la productividad y producción.**

Uno de los puntos más importantes en la construcción de transgénicos es el aumento de productividad y producción, es decir, el aumento de calidad y cantidad del producto final. Uno de los desafíos más grandes del mundo actual es dar de comer a la población mundial (que se acerca a los 8 mil millones de habitantes) con la misma cantidad de tierras productivas, y para ello se necesitan variedades que den mayor cantidad de producto.

#### **5.1.4. Mejora de la calidad nutritiva.**

Algunas plantas son ricas en ciertos nutrientes esenciales para el hombre, mientras que otras carecen de ellos o los poseen en muy bajas cantidades, es por ello que los métodos de ingeniería genética han conseguido incrementar la producción de ciertas sustancias en las plantas transgénicas. Uno de los ejemplos más representativos de ellos es el arroz dorado (*golden rice*, por su color) que es rico en vitamina A, la cual ayuda a evitar la ceguera en medio millón de niños por año en el mundo. La expresión de ciertos nutrientes que no estaban presentes antes en determinados cultivos es una buena opción para combatir la desnutrición en poblaciones con acceso restringido a muchos alimentos, y que por tal razón tienen una dieta incompleta y deficiente. Los principales campos de acción de esta área son el aumento de ácidos grasos, de proteínas y de micronutrientes.

#### **5.1.5. Control de enfermedades virales.**

Las enfermedades virales son causa de pérdidas masivas del cultivo cada año. Los grupos de virus que infectan las principales plantas son variados, los más conocidos son los virus mosaico. Los virus producen enfermedades mortales en las plantas y son capaces de acabar con cultivos enteros puesto que el contagio mediante insectos (u otros vectores) propaga rápidamente la enfermedad y produce un deterioro permanente de los cultivos. Se han diseñado plantas transgénicas resistentes a diferentes enfermedades virales mediante ingeniería genética.

El principio de la resistencia a enfermedades virales es la expresión de proteínas del mismo virus, que compitan con las partículas virales infecciosas e interrumpen los procesos de entrada a las células y de replicación. También se han diseñado plantas transgénicas que expresan proteínas capaces de interferir con los circuitos de regulación génica de los virus, inhibiendo la replicación del genoma viral y la síntesis de proteínas virales imprescindibles, mediante RNA antisentido.

En este campo también se han hecho avances acerca de la resistencia a enfermedades bacterianas y virales, mediante plantas productoras de ciertas proteínas y sustancias que funcionan como antibióticos

y antimicóticos.

#### **5.1.6. Tolerancia al estrés ambiental.**

Otro factor negativo sobre los cultivos son las condiciones ambientales adversas, que provocan fuertes situaciones de estrés sobre las plantas disminuyendo su productividad o matándolas. Para ello, se han aislado genes de organismos resistentes a determinadas condiciones ambientales extremas, como son las elevadas o bajas temperaturas, condiciones de salinidad extremas o de pH bajo 5 o sobre 9. Estos genes de resistencia a factores extremos normalmente se han tomado de arqueobacterias, que son los organismos mejor adaptados a estas circunstancias, aunque también se han tomado genes de animales y plantas para este efecto. Uno de los avances más llamativos en este sentido es la producción de plantas de tabaco y nabo portadoras de un gen humano que les confiere la resistencia a ciertos metales pesados, por medio de una proteína de asimilación de éstos metales, pasándolos a formas menos tóxicas dentro del organismo. La principal ventaja que tiene esta reducción del estrés ambiental, es la potencialidad de uso de hábitats marginales para cultivos. Plantas transgénicas que pueden crecer en ambientes poco o nada aptos para sus parientes silvestres.

#### **5.1.7. Producción de frutos más resistentes.**

El primer transgénico que salió al mercado fue el tomate "Flavr-Savr" de Calgene, el cual posee un gen artificial que genera un RNA de antisentido que inhibe la producción de la proteína responsable de la senescencia del fruto. Esta tecnología permite almacenar y tener más tiempo de exposición al ambiente de muchos frutos sin que se ablanden y se malogren.

#### **5.1.8. Producción de plantas bioreactoras.**

La posibilidad de inserción de genes en plantas, es tan amplia, que permite actualmente, generar nuevas plantas que funcionen como bioreactores para descontaminación y reciclaje de productos.

#### **5.1.9. Fijación de nitrógeno.**

Se han creado plantas transgénicas con amplio espectro de asimilación de *Rhizobium sp.*, una bacteria fijadora de nitrógeno. Estas bacterias normalmente hacen simbiosis solamente con las leguminosas, pero las nuevas tendencias en biotecnología vegetal han logrado ampliar el espectro de huésped a otras plantas.

#### **5.1.10. Mejora con fines ornamentales.**

Algunas plantas de importancia ornamental han sido modificadas para mejorar sus características estéticas, en especial el color de las flores y de esta manera hacerlas más atractivas al consumidor, por medio de la manipulación de pigmentos se han logrado colores de flores inexistentes en la naturaleza.

#### **5.1.11. Producción de fármacos y vacunas.**

La expresión de proteínas terapéuticas y de vacunas de subunidad han sido un gran logro de las plantas transgénica en el campo de la medicina. Normalmente las vacunas y muchos fármacos son difíciles de producir y los costos al consumidor son tan elevados que se hacen inaccesibles a la mayoría de la gente. Es por ello que la producción de vacunas activas y anticuerpos funcionales en plantas representa una buena alternativa para difundir el uso de vacunas importantes (como la de la hepatitis B) a

un costo mucho menor.

Carrillo y colaboradores (1998) han logrado expresar respuesta inmune efectiva en ratones mediante plantas transgénicas que expresan la proteína VP1 de la enfermedad de pie-boca (también conocida como fiebre aftosa). Estos resultados son alentadores para pensar que en un futuro próximo, la inmunización contra las principales enfermedades se la realice mediante los alimentos.

## **5.2. DESVENTAJAS DE LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS**

### **5.2.1. Los insecticidas Bt y similares.**

Si bien la presencia de proteínas tóxicas de tipo Bt o análogos de similar efecto mata la población de plagas con cierta especificidad, el efecto tóxico de los cristales de estas proteínas puede afectar a otros grupos de insectos no relacionados con las plantas de cultivo. Las proteínas Cry de Bt se cristalizan en los granos de polen (aunque éste sea polen estéril) y son dispersadas por el viento y resultan tóxicas para otros insectos cercanos a las plantas.

Greenpeace, ha denunciado que el polen tóxico del maíz resistente a insectos está matando a la mariposa monarca, puesto que dicho polen (que contiene cristales de las proteínas Bt en su superficie), es dispersado varios metros por el viento y llega a las plantaciones de algodón donde afecta fuertemente a las larvas de la mariposa monarca y produce reducciones considerables en las poblaciones de ésta, poniéndola en grave peligro de extinción. Si bien se ha visto que estas biotoxinas no tienen efecto sobre otros grupos de insectos (polinizadores y dispersores), la especificidad de plaga tampoco es absoluta.

### **5.2.2. Producción de súper plagas.**

Las plantas resistentes a herbicidas funcionan muy bien a corto plazo. Sin embargo a corto y mediado plazo, el uso extensivo de agroquímicos que se da a estos cultivos puede ocasionar el surgimiento de súper plagas. Los genes de resistencia a los herbicidas usualmente son obtenidos de diferentes bacterias del suelo y éstos genes pueden interactuar con las malezas y hacerlas también resistentes a los herbicidas, o bien las malezas mismas pueden desarrollar resistencia a los herbicidas por su condición de estrategias R, y de esta forma constituirse en un problema difícil de solucionar. La aparición de malezas resistentes a los herbicidas ocasionará inicialmente que se tengan que emplear mayores cantidades de agroquímicos, que tienen un fuerte impacto tóxico sobre los demás componentes del agroecosistema, y posteriormente se harán totalmente resistentes y no habrá manera de controlarlas y las pérdidas que ocasionarán serán muy grandes, así como los daños al ecosistema (degradación).

### **5.2.3. Resistencia a antibióticos.**

Los genes de resistencia a diferentes antibióticos se usan durante la construcción de los "cassettes" genómicos de las plantas transgénicas (conjunto de genes necesarios para la expresión de la característica deseada), estos genes no tienen función alguna en la planta transgénica y la mayoría de las veces no se expresan, pero sirven como un marcador de selección para distinguir las células transformadas de las no transformadas, puesto que ninguno de los métodos de inserción de material genético foráneo tiene una eficacia del 100%.

Los genes de resistencia a antibióticos son útiles solamente durante el proceso de construcción del transgénico y después no cumplen ninguna función, pero permanecen en el genoma de la planta. Esta permanencia deja abierta la posibilidad de transferencia horizontal de estos genes a las bacterias del suelo o a bacterias patógenas del hombre. Se ha comprobado que esta interacción genómica planta–bacteria se da en la naturaleza, aunque en muy baja proporción, por lo que la presencia de genes de resistencia a antibióticos en las plantas transgénicas se convierte en un problema de salud pública de primer orden.

Normalmente se emplea el gen de la resistencia a la kanamicina para este proceso, pero también se usan otros genes como el de resistencia a la ampicilina y a la estreptomycin, y la presencia de estos genes en las bacterias no sólo ocasiona resistencia a estos, sino que puede desencadenar procesos fisiológicos que hagan a la bacteria menos sensible a otras familias (moleculares) de antibióticos. Como se puede ver, esta potencialidad de transferencia de resistencia a antibióticos amenaza seriamente décadas de trabajo médico en el combate de enfermedades, ya que si las bacterias se vuelven resistentes sería imposible tratar las dolencias que producen, y los efectos sobre la salud y calidad de vida humanas serían catastróficos.

Estudios recientes han demostrado que, la probabilidad de transferencia horizontal de genes de resistencia de antibióticos de plantas transgénicas hacia bacterias es muy reducida. Uno de los factores limitantes es el estado fisiológico de las bacterias, ya que éstas necesitan estar en un estadio de competencia (bacteria competente) que le permita introducir material genético externo por medio de un proceso de transformación. La segunda limitante que describen estos autores son las diferencias de complejidad a nivel de genoma, ya que el genoma de plantas y bacterias son tan distintos que las barreras para la integración son muy amplias. De todas maneras este problema queda latente y se están generando alternativas como el uso de marcadores moleculares alternativos para la selección de las células modificadas.

#### **5.2.4. Inestabilidad genética.**

La inserción de material genético extraño a un genoma consolidado por millones de años de evolución puede provocar numerosos problemas de estabilidad genética. El que se inserten genes que nunca habrían podido llegar de manera natural a un genoma vegetal (como genes de bacterias y virus) hace que se pierda parte de la estabilidad estructural y bioquímica del genoma de la planta, y éste, para recuperar dicha estabilidad, deberá modificarse hasta llegar a formas más estables por medio de mutaciones pequeñas y grandes, con efectos de diferente magnitud.

Con respecto a esto, Käppeli & Auberson (1998) hacen la siguiente pregunta: "¿Cuán seguro es ‘suficientemente seguro’ en ingeniería genética de plantas?". Todavía no existe una respuesta concreta a esta pregunta, pero son muchos los estudios que se han hecho para poder contestarla. Los investigadores planifican, determinan y ejecutan los experimentos dirigidos bajo lo que se ha denominado efectos primarios, que son las características puntuales que se desean transferir a las plantas. Pero estos efectos primarios no son los únicos que se presentan en los transgénicos, también están los efectos secundarios, que son aquellos que están fuera del alcance y predicción del investigador. Los efectos secundarios se



deben a efectos aleatorios generados por la complejidad dinámica del genoma, que además de los sistemas de replicación, posee sistemas de reparación del material genético, puesto que el proceso de replicación ocasionalmente presenta errores. Son estos errores los que dan lugar a fenómenos de mutación, que junto con los procesos naturales de recombinación dan lugar a nuevos ordenamientos del material cromosómico, que, por supuesto, tienen algún efecto sobre el fenotipo.

### 5.2.5. Interacción ecológica negativa.

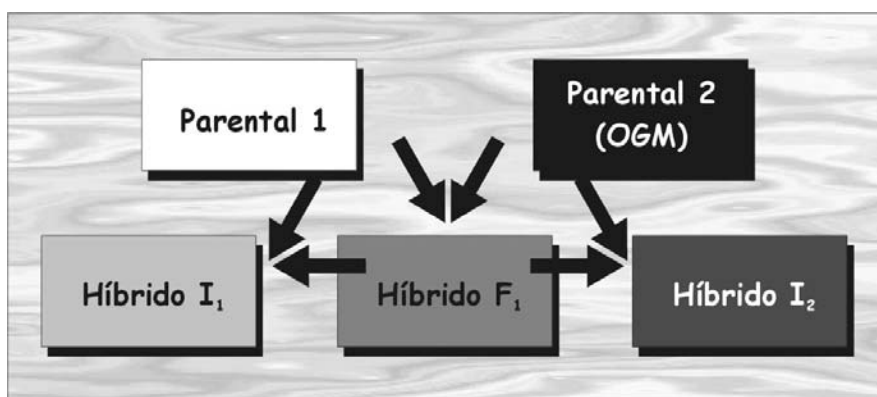
La adición de nuevas características a las plantas puede representar en algunos casos que se rompan asociaciones naturales con otras formas de vida (por ejemplo, los polinizadores), y que gracias a esto se cambien o rompan los ciclos normales de funcionamiento ecológico, afectando a todo el ecosistema.

### 5.2.6. Riesgo a la biodiversidad.

Los grupos ambientalistas han satanizado a los transgénicos aludiendo al riesgo de pérdida de la biodiversidad. Si bien en principio la generación de nuevas variedades de plantas parece contribuir a la biodiversidad, en lugar de reducirla, el efecto a mediano y largo plazo –en la mayoría de los casos– es una reducción de esta.

Las formas genéticamente modificadas de alguna manera se relacionan con sus parientes silvestres, ya sea porque están geográficamente cercanas, o por flujos de polen mediante corrientes de viento y se da un proceso de hibridación entre las plantas transgénicas y las plantas silvestres. Esta hibridación ocasiona un proceso de contaminación genética, el cual es irreversible, ya que los genes introducidos en esa progenie no se pueden retirar ni se puede evitar que se transfieran a una segunda generación. En este problema también median los procesos de introversión, que consisten en el retrocruzamiento de los híbridos con alguno de los parentales, dando formas más degeneradas genéticamente, pero que pueden superar los problemas de infertilidad (Fig 10 ).

**Figura 10:** Esquema que ilustra el proceso de introversión en plantas



A pesar de que se ha tratado de evitar este problema mediante la generación de plantas (transgénicas) estériles, plantas con polen no viable y la introducción de la tecnología Terminator (que elimina al embrión en la semilla y la hace inviable), se ha visto que estos híbridos si producen, y a causa de la contaminación genética se produce una fuerte erosión genética de las formas silvestres, que

contaminadas con algunos de los productos de transgénesis o al verse en desventaja selectiva frente a las "súper plantas" de laboratorio terminan extinguiéndose.

Tanto el problema de contaminación genética como el problema de extinción de especies silvestres son irreversibles y sus consecuencias ambientales desastrosas, ya que son éstas formas silvestres los reservorios de variabilidad que ofrece la naturaleza, y sin ellos las formas vegetales se homogenizarán cada vez más, y no podrán hacer frente a los cambios que requieran adaptaciones, y todas las formas, incluso las transgénicas, terminarán por extinguirse.

Los nuevos productos de las plantas transgénicas pueden tener efectos adversos al introducirse en las cadenas tróficas, se ha visto que ciertas sustancias de origen viral son capaces de dañar el sistema inmunológico de los mamíferos, y que muchas de las sustancias generadas en las plantas transgénicas son cancerígenas.

#### **5.2.7. Transferencia horizontal de genes.**

Como en el caso de la resistencia a antibióticos, cabe la posibilidad de transferencia horizontal de genes provenientes de las plantas transgénicas. Los efectos que puedan tener estos genes en otras plantas, y peor aún, en otro tipo de organismos, son impredecibles. Recientemente los científicos han demostrado que las variedades transgénicas de maíz cultivadas en Estados Unidos, contaminaron variedades criollas esta planta en México.

#### **5.2.8. Aparición de alergias.**

El introducir genes extraños en las plantas que sirven de alimento, hace que en la comida cotidiana aparezcan sustancias que de otra manera nunca habrían entrado a la dieta humana, como por ejemplo proteínas bacterianas. Se ha visto que muchas de estas sustancias nuevas en las plantas transgénicas son potenciales alérgenos para los seres humanos. Se han registrado casos de pruebas de laboratorio que han dado positivo al componente alérgico, como la soya con genes de la castaña del Brasil, que nunca llegó a salir al mercado por este problema; sin embargo no todos los productos potencialmente alérgenos han tenido esa censura, y ese es el caso del maíz StarLink (resistente a insectos) producido y comercializado en Estados Unidos, el cual ha producido reacciones alérgicas muy fuertes en parte de los consumidores. Este maíz StarLink teóricamente fue probado antes de su introducción al mercado, pero considerado que la prueba fue realizada en 20 individuos (una muestra no representativa de una población de varios millones de habitantes) los resultados reales fueron mucho peores que los esperados.

El problema de las alergias a los compuestos nuevos constituye un asunto de salud pública de cuidado, especialmente por los efectos secundarios que esto puede tener, como fue el caso de las personas en Estados Unidos que enfermaron mortalmente por el consumo de L-triptófano producido por técnicas de DNA recombinante en bacterias.

#### **5.2.9. Medio ambiente**

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.

Por ello, 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 son, para muchos científicos 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, así la disputa científica sobre la evaluación de riesgos ambientales de los OGM, se centra sobre todo alrededor de los efectos de la actual plantación masiva de plantas transgénicas, una vez aprobada su aplicación, en algunos países, tras los primeros ensayos de campo. Según sus críticos (principalmente ecólogos), los peligros a evaluar se podrían centrar en los siguientes:

- Posibilidad de que las plantas genéticamente modificadas (PGM), por efecto del nuevo material genético introducido, puedan modificar sus hábitos ecológicos, dispersándose e invadiendo ecosistemas, al modo de malas hierbas.
- Posibilidad de transferencia horizontal del gen introducido, (p. ej., por medio del polen), desde la PGM a individuos de especies silvestres emparentadas, que vivan en las cercanías del campo de cultivo, lo que podría conllevar a la creación de híbridos, que a su vez podrían adquirir efectos indeseados (invasividad, resistencia a plagas, incidencia negativa sobre otros organismos del ecosistema, etc).

Si sucediese este tipo de fenómeno, sería especialmente preocupante de producirse en los centros de biodiversidad de los países tropicales, porque podría amenazar la integridad de los ricos recursos genéticos, que se albergan en ellos. Un ejemplo muy invocado, es el del gen que determina la síntesis de una toxina dirigida contra los insectos parásitos de la planta, lo cual podría favorecer la aparición de razas de insectos resistentes a dicha toxina.

Por otro lado, el gen de la resistencia a herbicidas, no sólo puede ser transportado por el polen a especies silvestres y próximas genéticamente, si no que también las bacterias del suelo (*Agrobacterium*, *Pseudomonas*, etc.) podrían transmitir el trasgén 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, dicho material podría penetrar en bacterias e integrarse en su cromosoma mediante el conocido fenómeno de la transformación. Por otro lado, 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?

- Teniendo en cuenta que, ciertas manipulaciones recientes de plantas para hacerlas resistentes a enfermedades ocasionadas por virus, implican la introducción de algún gen del virus en cuestión o de

otros relacionados, cabría la posibilidad de recombinaciones genéticas productoras de nuevas versiones de virus patógenos para las plantas. La pregunta subyacente es si los genes virales introducidos, podrían afectar a la constitución de las poblaciones silvestres de virus o a la epidemiología de ciertas enfermedades. Aunque en laboratorio se han descrito mecanismos, por los que genes virales expresados en plantas pueden modificar el comportamiento de virus, es muy difícil evaluar el riesgo de los ensayos de campo, ya que se desconoce casi todo sobre la dinámica poblacional de los virus vegetales 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 y el compromiso de volver a comprarlas en cosechas sucesivas; o bien a la venta de semillas preparadas genéticamente para que su descendencia no sea fértil, y así obligar al agricultor a comprar de nuevo las 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.

## **6. LOS TRANSGÉNICOS Y LAS TRANSNACIONALES**

Si bien el desarrollo de los transgénicos y de toda la tecnología y biotecnología necesaria para la producción de los mismos ha contribuido fuertemente a aumentar el conocimiento científico en el campo de la genética, y a permitido a muchos fortalecer proyectos de investigación y formar profesionales de primer nivel, también ha llevado al monopolio de los transgénicos. Las grandes empresas del rubro, como Monsanto, DuPont, Calgene, Novartis, Aventis y Ciba, han dejado de lado sus actividades iniciales orientadas a la producción de productos químicos y farmacéuticos, y han doblado esfuerzos en el campo

de la biotecnología de alimentos. Actualmente se pueden patentar organismos íntegros, partes de organismos, células, cromosomas e incluso genes, y mediante estas patentes la empresa que los "inventa" tiene derecho de uso exclusivo y puede cobrar concesiones por su uso, convirtiendo así el mercado de alimentos de un sistema vendedor-comprador a un sistema proveedor-usuario.

Gracias a esta patentabilidad de la vida, (¡como si la vida pudiese inventarse!), el acceso a los recursos genéticos, queda en mano de unas pocas transnacionales, que son dueñas y soberanas del DNA de muchas especies, y gracias a ello pueden monopolizar y manipular los mercados a voluntad.

Actualmente Monsanto, Novartis, DuPont y Aventis manejan el 32% del mercado mundial de semillas y prácticamente el 100% del mercado mundial de semillas transgénicas.

La tecnología *Terminator*, que inicialmente se creó como un medio de evitar la propagación indeseada de plantas transgénicas, hoy es la herramienta perfecta para el dominio de los mercados, ya que los agricultores deben comprar cada vez la semilla a la empresa, porque la que obtienen de la cosecha es estéril y no se puede volver a sembrar. Ya que dicha tecnología, como antes hemos hecho referencia, hace que se activen un conjunto de genes que vuelven inviable al embrión de la semilla, impidiendo que ésta germine en la próxima siembra.

Este procedimiento crea una dependencia total a la empresa productora, que tiene efectos negativos sobre la economía del agricultor y del país.

El que estas empresas hayan "inventado" y patentado la vida, y que quien desee plantar semillas transgénicas, tenga que pagar por un derecho de uso, y no por comprar un bien, reduce o incluso se puede decir que elimina, la soberanía alimentaria del país dependiente, y si no existe soberanía alimentaria, es decir, no se tiene un control propio sobre los alimentos, menos aún se podrá hablar de una seguridad alimentaria.

En el año 2000, el comercio de los transgénicos movió 2 millones de dólares, y según las estimaciones de los economistas, el 2010 llegará a mover 20 millones de dólares, 10 veces más en 10 años. Ante este marcado incremento de ganancias, las empresas transnacionales dueñas de las patentes de las semillas transgénicas, pueden llegar a dominar la economía mundial en pocos años, y cualquier problema que estas puedan enfrentar, repercutirá fuertemente sobre todos los países, pero como siempre, con más fuerza sobre los países en desarrollo.

## **7. CULTIVO DE PLANTAS TRANSGÉNICAS EN EL MUNDO**

Desde su primera comercialización a fines de los 90, los cultivos transgénicos han sido adoptados cada vez en mayor medida en todo el mundo a una tasa sin precedentes. Concretamente, según un informe publicado en enero de 2007, por el Servicio Internacional para la Adquisición de las Aplicaciones Agro biotecnológicas (ISAAA), desde su comercialización inicial en 1996, el área global de cultivos transgénicos pasó de 1,7 millones de hectáreas en seis países, a 102 millones de hectáreas en 22 países en 2006. Es decir que a comienzos de 2007, la segunda década de su adopción, el área de cultivos transgénicos se incrementó en un 13% con respecto a 2005, alcanzando las 102 millones de hectáreas, el

segundo incremento más alto de los últimos 5 años. Considerando todo *el período 1996-2006 el área aumentó 60 veces*, un incremento sin precedentes.

Esta rápida adopción de la biotecnología agropecuaria responde a los beneficios que ofrece, entre ellos la estabilidad y sustentabilidad de la producción agropecuaria, mejorando el rendimiento de los cultivos (más alimentos sin aumentar significativamente el área sembrada), el incremento del valor nutricional de los alimentos, y la expansión de los procesos y productos vinculados al sector agropecuario, a otras áreas industriales (plásticos, textiles, papel, energía, productos químicos, entre otros).

Cada una de las especies que aportan el alimento y la energía que se consume en el mundo, han sido seleccionadas y modificadas, a través de sucesivas generaciones de agricultores y fitomejoradores, mediante técnicas tradicionales de selección, cruzamiento e inducción de mutaciones. En los últimos años, la ingeniería genética se ha sumado como una herramienta complementaria, a las prácticas tradicionales de mejoramiento vegetal y ha hecho posible la obtención de los cultivos transgénicos, con beneficios para el productor, la sociedad y el medioambiente. A estos beneficios, se agrega que los productos derivados de los OGM's, son evaluados rigurosamente desde la inocuidad alimentaria y su seguridad para la salud y el ambiente antes de la introducción en el mercado.

La primera generación de cultivos transgénicos, surgió como una herramienta tecnológica para otorgar ventajas a los productores. En general, estos cultivos fueron modificados para mejorar la expresión de caracteres de productividad, tales como la resistencia a insectos, virus, o tolerancia a herbicidas, o caracteres como maduración retardada. Algunos de estos cultivos fueron aprobados para su comercialización, cultivo y consumo en la década de los 90, y son los que se están comercializando actualmente. Numerosos proyectos en desarrollo involucran cultivos transgénicos resistentes a hongos y bacterias.

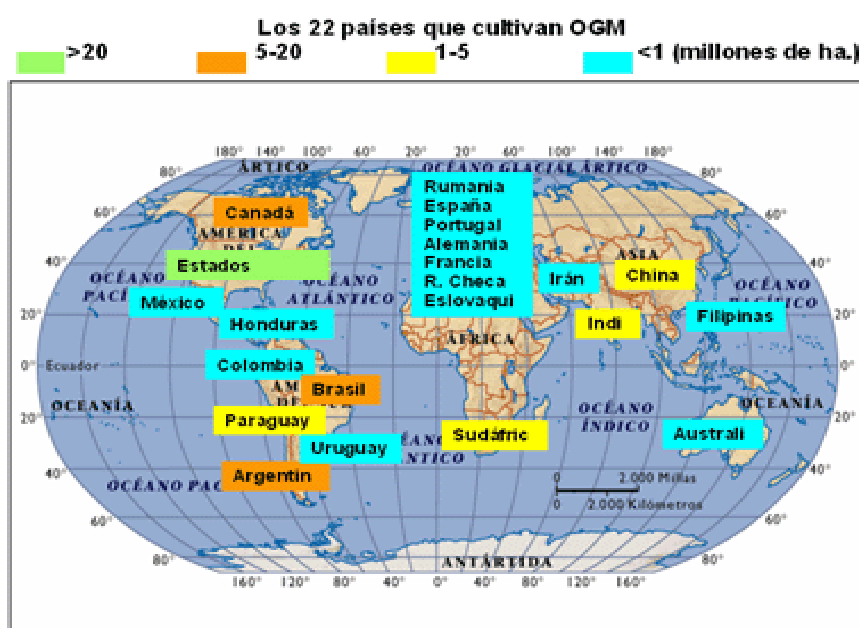
Los cultivos de la segunda generación, ofrecen beneficios directos para la industria y los consumidores, y responden más bien a la necesidad de mejorar caracteres cualitativos. Dentro de estos cultivos se incluyen aquellos con resistencia a estrés abiótico (sequía, salinidad, frío, etc.), los que brindan alimentos más sanos y nutritivos que los convencionales (maní hipoalérgico, arroz con betacarotenos, etc), los que producen mayor cantidad o mejor calidad de metabolitos de interés industrial (hidratos de carbono, ácidos grasos, aminoácidos), o los diseñados para ser usados como biorreactores de moléculas de interés farmacéutico (especialmente no producidas por las plantas como vacunas, anticuerpos), y/o de enzimas de interés industrial, (biopolímeros, etc).

Estos cultivos están hoy en ensayos de campo y su comercialización ocurrirá posiblemente en los próximos años. Aunque las distinciones suelen ser confusas al respecto, se menciona en algunos casos una tercera generación de cultivos transgénicos. En este caso las modificaciones genéticas, involucran cambios en la arquitectura de las plantas o en sus tiempos de desarrollo. Este tipo de cultivos, se encuentran todavía en etapa de investigación básica, aunque la introducción futura de tales modificaciones parece totalmente previsible. El 2005 marcó el décimo aniversario de la comercialización

de los cultivos genéticamente modificados (GM). Según el informe del Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA), en el 2005, 21 países sembraron cultivos transgénicos en una superficie global estimada en 90 millones de hectáreas. Se agregaron durante 2005 cuatro nuevos países, como parte del aumento del 11% en el área global cultivada: Irán, República Checa, Francia y Portugal.

Durante el 2006, según el nuevo informe de ISAAA, 22 países sembraron cultivos transgénicos (el nuevo país que se sumó es Eslovaquia) en una superficie global estimada en 102 millones de hectáreas.

El gráfico muestra los países que sembraron cultivos transgénicos en el 2006 con sus respectivas superficies y cultivos:



En 2006, de los 102 millones de hectáreas sembradas con cultivos transgénicos:

1. el 57% correspondieron a soja,
2. el 25% a maíz,
3. el 13 % a algodón
4. el 5% a canola.
5. el 0,1% a alfalfa

De los 102 millones de hectáreas de transgénicos:

- 1- 58 % se sembraron con cultivos tolerantes a herbicidas (maíz, canola, algodón y alfalfa transgénicos),
- 2- 18% se sembraron con cultivos Bt (algodón, maíz y soja)
- 3- 13% corresponden a cultivos de genes “acumulados” (se incorpora más de un rasgo en la misma planta por ingeniería genética, maíz y algodón TH y Bt) .

Los cultivos resistentes a virus (papaya y zapallo), representaron menos del 1% de las 102 millones de hectáreas sembradas con OGM.

Los cultivos predominantes en la siembra de 2006 continuaron, siendo la soja el cultivo biotecnológico más importante en 2006, ocupando 58,6 millones de hectáreas (57% de la superficie de cultivos biotecnológicos mundial), seguida por el maíz (25,2 millones de hectáreas y el 13%), el algodón (13,4 millones de hectáreas y el 5% de la superficie global de cultivos transgénicos).

**Cave destacar:**

1. En 2006 la alfalfa con tolerancia a herbicida, fue comercializado por la primera vez en los Estados Unidos. La alfalfa tolerante a herbicida, tiene la distinción de ser el primer cultivo transgénico perenne comercializado, y fue sembrado en 80.000 hectáreas, el equivalente del 5% de los 1,3 millones de hectáreas de alfalfa que se estima fueron sembrados en los Estados Unidos en 2006. El algodón con tolerancia a herbicida, fue lanzado en 2006, y ocupó una superficie substancial de más de 800.000 hectáreas en su primer año, plantado como característica única y como producto apilado con Bt, con el último ocupando a la mayoría de la superficie total sembrada. Las plantaciones se situaron principalmente en los Estados Unidos, con una superficie más modesta en Australia.

2. Notablemente en China, una papaya con resistencia a virus desarrollada en el país, un cultivo alimenticio/de fruta, fue recomendada para su comercialización a finales del 2006.

En 2006, los Estados Unidos, seguidos de Argentina, Brasil, Canadá y China, continuaron siendo los principales productores de transgénicos en el mundo, con:

- 1). 53 millones de hectáreas sembradas en los Estados Unidos
- 2). 18 millones de hectáreas sembradas en Argentina
- 3). 11 millones de hectáreas sembradas en Brasil
- 4). 6 millones de hectáreas sembradas en Canadá
- 5). 4 millones de hectáreas sembradas en India
- 6). 3 millones de hectáreas sembradas en China

La experiencia de los primeros 10 años, entre 1996 y 2005, durante los cuales se sembró un total de más de 475 millones de hectáreas de cultivos transgénicos en 21 países, cumplió las expectativas de pequeños y grandes productores de países desarrollados y en desarrollo. El beneficio para los productores fue sustancial, independientemente del estrato social, económico o geográfico. Datos relevados en distintos países demuestran, que los cultivos transgénicos de primera generación cultivados hasta el momento, han otorgado ventajas respecto a sus contrapartes convencionales, que se ven traducidas en menor uso de agroquímicos, menores costos de producción, menor contaminación ambiental, simplificación de labores y mayor rendimiento, pero sin generar modificación de las características finales del producto que llega a los consumidores o a la industria.

## **8. TRANSGÉNICOS Y CONSUMIDORES**



La biotecnología moderna, al igual que otras tecnologías que aparecen como nuevas en la sociedad, no está eximida de una recepción crítica y de desconfianza por parte de los potenciales usuarios o beneficiarios de dicha tecnología. En este sentido, derribar la “barrera” de la percepción pública y los prejuicios, es un desafío que enfrenta la comunidad científica.

La biotecnología se presenta entonces como una herramienta científica, cuya aplicación no sólo representa un beneficio para el consumidor y un adelanto científico, sino también un negocio, que emprenden empresas y personas del cual aspiran sacar rédito económico. Este negocio requiere no sólo habilidad y estrategia, sino grandes inversiones en investigación y desarrollo, y una permanente búsqueda de ampliar los conocimientos. Por otra parte, esta actividad se encuadra en un marco regulatorio, y un debate a nivel nacional e internacional, donde cabe preguntarse si el conocimiento y la investigación no avanzan más rápido que las leyes.

En este marco está el consumidor, el ciudadano que se informa a través de fuentes diversas y que percibe que la biotecnología, es un área de fuerte crecimiento en manos de científicos y empresarios, donde se mueven grandes cantidades de dinero y un amplio caudal de conocimiento e información, sobre la cual se manifiestan diversas posturas a favor y contra, y donde las partes no han llegado a acuerdos. Por lo tanto, la combinación de negocio + potenciales riesgos + desconocimiento + discordia genera incertidumbre, la cual, a su vez, genera temor y rechazo a priori.

Por lo que podemos decir que existen:

a- La **comunidad científica**: la cual maneja gran cantidad de información, pero suele “encerrarse” en sí misma y transmitirla en congresos, simposios, artículos científicos y otros medios que circulan entre las mismas personas que se mueven en el ámbito científico. Esta información habitualmente no llega al consumidor, sino a especialistas que ya conocen el tema. La comunicación con los consumidores, medios y políticos es escasa y usualmente requiere que se “traduzca” la información a un lenguaje accesible y comprensible para las personas no expertas. Una de las críticas que recibe la comunidad científica es la escasa actividad de divulgación de la ciencia que realiza. Ya que aunque se observa que la comunidad científica es un grupo de gran credibilidad e influencia, es decir, sus mensajes son altamente escuchados y tenidos en cuenta, las estrategias de comunicación que emplea son escasas, con lo cual la información científica que llega a la comunidad es poca.

b- Los **grupos opositores** a los transgénicos (asociaciones ambientalistas, ONG) tienen una fuerte relación con los medios de comunicación a quienes llegan con mensajes de alto impacto (demostraciones, piquetes, etc.) que los medios encuentran atractivos o “prensables”. Asimismo, a través de artículos, campañas publicitarias, propagandas con líderes de opinión y personajes famosos, los consumidores reciben de estos grupos mensajes de alto impacto que apelan a lo emocional. Además, a través de actividades de lobby y recursos legales tales como amparos, petitorios, etc., los grupos opositores se relacionan con el poder político e intentan influir sobre las políticas científicas y tecnológicas. Los grupos opositores no suelen comunicarse con la comunidad científica (no hay flecha en el esquema). Ciertas organizaciones han tomado una clara postura “anti-ciencia” y “anti-tecnología”, a través de acciones que

han captado la atención de los medios, tales como los intentos de destruir campos experimentales de cultivos transgénicos o con campañas que pregonan “volver a lo natural”. El intercambio, sin embargo, entre grupos activistas y la comunidad científica sería productivo. Por último, el “trueno” que une a las “empresas” con los “grupos opositores” representa el conflicto entre ambos actores. Los grupos opositores condenan todo interés lucrativo de las empresas, especialmente de las multinacionales extranjeras, aunque puedan aportar beneficios a países en vía de desarrollo y a pequeños productores/empresarios

c- Las **empresas** llevan adelante su actividad y persiguen sus propios intereses comerciales. Para ello mantienen un diálogo fluido con los sectores del poder político, que brindan el marco legal para sus negocios, y ante quienes deben presentar sus productos para aprobación y liberación al mercado. Por otra parte, las empresas se nutren del conocimiento de profesionales especialistas a los cuales contratan para sus departamentos de investigación y desarrollo (I+D).

Al hablar de empresas, científicos, tecnologías y conocimiento, en la nueva relación del conocimiento y la producción, los sistemas de educación como las universidades y la investigación científica adquieren cada vez mayor importancia. La tendencia es hacia una fluida interacción entre las universidades y las empresas: la universidad como centro de formación de profesionales y potenciales empleados, y las empresas brindando apoyo a la investigación y desarrollo a través de la financiación de proyectos. Intentando fomentar que las empresas dialoguen con los científicos en el marco de políticas, que favorezcan programas e iniciativas que traduzcan la investigación científica en recursos (productos o servicios), para el bienestar de las personas.

Por otro lado, la comunicación entre consumidores y empresas se realiza a través de diferentes medios: publicidad masiva, promociones, líneas de atención al consumidor, etc. con el fin de informarlos, persuadirlos a que compren sus productos. Por su parte, los consumidores suelen acercarse a las empresas por quejas, reclamos y consultas. La información a través de fuentes confiables y variadas podría promover un consumo informado y responsable.

d- En cuanto a los **medios de prensa**, las empresas son por lo general cuidadosas acerca de qué información dan a conocer a la prensa, ya que manejan datos confidenciales que no quieren que lleguen a sus competidores, y siguen políticas corporativas de comunicación. Lo efectúan a través de: comunicados de prensa, contactos personales, conferencias de prensa, agencias de noticias y prensa, demostraciones mediáticas, etc. De este modo, los medios eligen los hechos que consideran noticia y los difunden. Usualmente, las demostraciones de alto impacto que realizan grupos activistas, suelen tener cabida en la prensa y estos grupos, mantienen una fluida relación con los medios. Sin embargo, la comunicación entre los medios y la comunidad científica es escasa.

Por otra parte, el público escucha con atención los mensajes de los activistas y la prensa, a quienes perciben como confiables, denunciantes y defensores de los derechos de los consumidores y del medio ambiente, por ello es que sus mensajes tienen un alto impacto en la sociedad

Por otro lado, si bien existen personas, instituciones y gobiernos que están a favor de las plantas transgénicas, las voces en contra son muchas y los argumentos diversos, para rechazar total o parcialmente a las plantas transgénicas. A continuación nos hacemos eco de algunas opiniones por parte de distintos expertos:

- Villaverde cuestiona, los potenciales efectos al ambiente y a salud, que pueden derivarse del cultivo y consumo de plantas transgénicas.

- Oswald cuestiona fuertemente, el componente ético del trabajo y cultivo de OGMs, tanto por los efectos que pueden tener sobre el ambiente y salud, como por los efectos socio-económicos que las prácticas de monopolio, mediante las TRUG, ejercen las transnacionales sobre los países y la gente pobre.

- Pick-Upau y Syntonia.com cuestionan, la inminente pérdida de biodiversidad a raíz de la homogenización genética de los cultivos, y de la generación de súper plagas y súper malezas, por el mal uso de los insecticidas biológicos Bt, y la aplicación indiscriminada de herbicidas.

- Pick-Upau también plantea, que los cultivos transgénicos, amenazan fuertemente a las comunidades microbianas del suelo, y la "polución" genética que pueden ocasionar los transgenes, puesto que todas estas circunstancias son irreversibles.

En la actualidad un 80% de los consumidores europeos, están en contra de los alimentos transgénicos, y la oposición crece cada día más en Estados Unidos y América, en especial por la incertidumbre que genera el no contar con regulaciones y leyes adecuadas para su cultivo, manejo y comercialización. La inseguridad que genera el origen de los alimentos en los consumidores ha levantado mucha discusión y polémica en los últimos años, ya que las comisiones de bioseguridad y las convenciones internacionales de bioseguridad han sugerido implementar el etiquetado diferencial de productos, indicando cuáles de los alimentos ofertados son de origen transgénico o contienen porciones de origen transgénico, y cuales no.

La exigencia del etiquetado diferencial de los productos no ha tenido una buena acogida entre las empresas productoras de semillas transgénicas, ni entre los agricultores que las cultivan, porque de ser así la gente podría rechazar masivamente estos productos y generarles fuertes pérdidas económicas. También se ha discutido mucho sobre la factibilidad del etiquetado diferencial, ya que algunos productos como el tomate "Flavr-Savr" son fácilmente etiquetables, mientras que otros como los granos de soja a granel, que se mezclan son soja no transgénica, son casi imposibles de diferenciar y de etiquetar por separado.

A pesar del rechazo generalizado, las medidas legales adoptadas, las convenciones internacionales sobre el tema y las acciones de los grupos ambientalistas, alimentos transgénicos, derivados de transgénicos y / o con componentes de origen transgénico están en los supermercados desde hace varios años sin que el consumidor lo sepa.

Productos tan cotidianos como una barra de Snickers, un chocolate Nestlé o papas fritas Pringles desde hace varios años contienen productos de origen transgénico. El maní en Snickers, la colza agregada a los chocolates Nestlé y las "papas" (que ya están tan modificadas que poco se parecen a una papa andina) de Pringles se han introducido en la dieta de millones de personas, y han causado reacciones

alérgicas a un porcentaje de éstas, quienes hasta hace poco tiempo no han tenido una explicación razonable para tal reacción inmunológica descontrolada.

Algunos de los cereales de maíz como CornFlakes, que se consumen en América del Sur, Central, del Norte y en Europa contienen maíz StarLink, el cual es resistente a insectos y posee proteínas bioinsecticidas que producen fuertes alergias en algunas personas, que incluso puede causarles la muerte. Si se tomara un comprador tipo en un supermercado y se analizara la proporción de alimentos transgénicos que lleva en el carrito, el resultado sería impresionante, por lo menos un 10% de ellos tiene algún producto o materia prima de origen transgénico, por supuesto, el comprador ignora esto.

De aceptarse internacionalmente las normas de etiquetado diferencial de alimentos transgénicos, esta medida debería aplicarse con carácter retroactivo a los productos que ya se encuentran en el mercado, ya que lo más importante es el derecho del consumidor a ser informado y a poder elegir. Hoy en día los cultivos transgénicos aumentan entre críticas y alabanzas. Las posiciones asumidas por los consumidores, las instituciones científicas y los organismos gubernamentales son muy diversas, y van desde un rechazo total hasta una aceptación plena, pasando por un complejo y variado grado de criterios. Este es un tema muy delicado y con muchas variables a considerar, puesto que tiene una gran cantidad de ventajas innegables que coexisten con varios problemas reales, y es por esto que no resulta sencillo asumir una posición definitiva, incluso se podría decir que no existe una posición definitiva porque el tema requiere de un profundo análisis de los casos particulares de realidad económica, social y biológica de cada país.

Los transgénicos ya están entre nosotros y los intereses económicos relacionados a este tema son muy grandes, y a pesar de la oposición de los consumidores, las transnacionales que manejan los mercados siguen vendiendo más y más semillas transgénicas, pero ninguna compañía aseguradora quiere correr con los riesgos.

La decisión de introducir transgénicos a un país y del destino que tengan los productos de estos cultivos es compleja y muy delicada. Los riesgos que implica la introducción de plantas transgénicas a un ambiente estable, con especies nativas y procesos ecológicos son grandes, y debe realizarse un balance de costo-beneficio para determinar la mejor opción a tomar.

En este caso, es imprescindible realizar un balance global de la situación antes de la introducción de los transgénicos, ya que dependiendo del caso particular, un mismo transgénico puede resultar ventajoso o perjudicial.

Hoy en día los cultivos transgénicos aumentan entre críticas y alabanzas. Las posiciones asumidas por los consumidores, las instituciones científicas y los organismos gubernamentales son muy diversas, y van desde un rechazo total hasta una aceptación plena, pasando por un complejo y variado grado de criterios.

Este es un tema muy delicado y con muchas variables a considerar, puesto que tiene una gran cantidad de ventajas innegables que coexisten con varios problemas reales, y es por esto que no resulta sencillo asumir una posición definitiva, incluso se podría decir que no existe una posición definitiva

porque el tema requiere de un profundo análisis de los casos particulares de realidad económica, social y biológica de cada país.

Los transgénicos ya están entre nosotros y los intereses económicos relacionados a este tema son muy grandes, y a pesar de la oposición de los consumidores, las transnacionales que manejan los mercados siguen vendiendo más y más semillas transgénicas, pero ninguna compañía aseguradora quiere correr con los riesgos

La decisión de introducir transgénicos a un país y del destino que tengan los productos de estos cultivos es compleja y muy delicada. Los riesgos que implica la introducción de plantas transgénicas a un ambiente estable, con especies nativas y procesos ecológicos son grandes, y debe realizarse un balance de costo–beneficio para determinar la mejor opción a tomar. En este caso es imprescindible realizar un balance global de la situación antes de la introducción de los transgénicos, ya que dependiendo del caso particular, un mismo transgénico puede resultar ventajoso perjudicial.

Las plantas transgénicas han levantado gran polémica y han puesto en tela de discusión las ventajas y desventajas que traen en la agricultura y en la economía mundial. Son muchas las posiciones que se han asumido al respecto, pero no existe una posición definitiva para este caso, puesto que éste es un fenómeno demasiado complejo y con muchas condicionantes, que hace necesario un balance global de la situación antes de asumir un criterio de aceptación o rechazo.

Si bien estas plantas tienen muchas potencialidades a corto y largo plazo, los efectos negativos sobre el ambiente, la salud humana y la economía han frenado, en cierta forma su ingreso en los mercados de alimentos y la producción de sustancias químicas y farmacéuticas en el mundo entero. Uno de los impedimentos que experimentan los países en desarrollo es la dependencia vertical de las transnacionales dueñas de las patentes, que mediante las TRUG hacen que los campesinos deban comprar semillas nuevas cada vez, y pasan de comprar un producto a alquilar un servicio. Se ha visto que la agricultura de transgénicos no es muy distinta a la agricultura convencional y menos aún a la agricultura química, y por ello es que se puede hablar de una relación entre agroecología y transgénicos, ya que de esta forma se puede promover un cultivo transgénico de menor impacto ambiental (porque algún impacto tienen, y a futuro los cultivos transgénicos pueden llegar a ser un estándar y no una opción), pero el principal inconveniente que deja fuera de la concepción de agroecología a los transgénicos es la sostenibilidad, puesto que este sistema de producción no es sostenible, porque el campesino depende de la empresa semillera de por vida.

Los transgénicos ya están en los supermercados, aunque sin etiquetado diferencial, y sus efectos se sienten tanto en el ambiente como en la salud. Los intereses económicos que mueven esta corriente son muy fuertes como para dejarse apabullar por el rechazo del consumidor, y lo más probable es que el futuro esté dominado por los alimentos transgénicos patentados y con TRUG. Es por ello que en lugar de asumir una posición contraria e irracional respecto al tema, se debe realizar un balance global de costo–beneficio para los casos particulares de las realidades de los distintos países y buscar la mejor alternativa para todos.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Daniell H , Streatfield SJ, Wycoff K. 2001. Medical molecular farming: production of antibodies, biopharmaceuticals and edible vaccines in plants. Trends Plant Sci., 6: 219-226.
- Ma J, Drake P, Christou P. 2003. The production of recombinant pharmaceutical proteins in plants. Nature Rev. Genetics, 4: 794-805.
- Twyman RM, Stoger E, Schillberg S, Christou P, Fischer R. 2003. Molecular farming in plants: host systems and expression technology. Trends Biotechnol. 21:570-578.
- [http://www.porquebiotecnologia.com.ar/educacion/cuaderno/ec\\_77.asp?cuaderno=77](http://www.porquebiotecnologia.com.ar/educacion/cuaderno/ec_77.asp?cuaderno=77)
- <http://www.argenbio.org/h/biblioteca/pdf/ilsigmtes.pdf>
- [http://www.argenbio.org/h/biblioteca/pdf/SEGURIDAD\\_ALIMENTARIA.pdf](http://www.argenbio.org/h/biblioteca/pdf/SEGURIDAD_ALIMENTARIA.pdf)
- [http://www.argenbio.org/h/biblioteca/pdf/BIOTECN\\_SECT\\_ALIM.pdf](http://www.argenbio.org/h/biblioteca/pdf/BIOTECN_SECT_ALIM.pdf)
- <http://www.argenbio.org/h/biblioteca/pdf/klaus-amman.pdf>
- <http://www.argenbio.org/h/biblioteca/pdf/f-garcia-olmedo.pdf>
- <http://www.clia.org.mx/cliadocs/0999ada2.html>
- <http://www.agroecolandes.org/bol@1/boletin%201.html>
- <http://www.argonautas.org.br/leivedatgn.htm>
- <http://www.ecoportal.net/noti/notas658.htm>
- <http://www.biodiversidadla.org/noticias75.htm>
- <http://www.biodiversidadla.org/redlat9.htm>
- <http://biodiversidadla.org/>
- <http://www.biodiversidadla.org/noticias91.htm>
- <http://www.ecoportal.net/articulos/transgenicos.htm>
- <http://www.sodepaz.org/cooperacion/agricultura/courvalin.htm>
- <http://www.dataterra.org.br/novidades/aspta.htm>
- [http://enn.com/news/wire-stories/2001/11/11292001/ap\\_45717.asp](http://enn.com/news/wire-stories/2001/11/11292001/ap_45717.asp)
- [http://www.extremadura21.com/caudal/hemeroteca/mayo-junio\\_2000/agricultura/agricultura1.htm](http://www.extremadura21.com/caudal/hemeroteca/mayo-junio_2000/agricultura/agricultura1.htm)
- <http://www.biotechknowledge.com/showlib.php3?uid=1960&country=spain>
- <http://www.ecoportal.net/noti/notas535.htm>
- <http://www.megalink.com/fobomade/DeclaPAPA.htm>
- <http://www.geocities.com/CapitolHill/Parliament/2486/Ciencia/gp6.html>
- <http://biotechknowledge.com/showlibsp.php3?uid=3453>
- <http://www.rlc.ao.org/opinion/anterior/2000/izquierdo.htm>
- [http://www.pick-upau.com.br/transgenicos\\_03.htm](http://www.pick-upau.com.br/transgenicos_03.htm)
- <http://ar.groups.yahoo.com/group/nutricion/message/338>
- <http://www.ecoportal.net/articulos/alimtransg.htm>

