

## Las plantas transgénicas en el contexto social

José M. Machado Rodríguez

Instituto de Biotecnología de las Plantas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas km. 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54 830. e-mail: machado05@ibp.co.cu

### RESUMEN

Las nuevas biotecnologías forman parte de la vida cotidiana. Dentro de sus ramas se encuentra la transgénesis vegetal que ha revolucionado la agricultura que se considera el nivel superior a la Revolución Verde. El trasiego de genes de una especie a otra, de un reino al otro ha posibilitado la adquisición por las plantas de caracteres inusuales lo cual les permite sobrevivir en entornos inhóspitos, renovar los recursos del sustrato, resistir a enfermedades y plagas, herbicidas, estrés hídrico, proporcionar mejores nutrientes y fitofármacos donde se destacan las "vacunas verdes". La velocidad con la cual se han desarrollado estas tecnologías han permitido llevar los cultivos transgénicos a millones de hectáreas en muchos países del mundo, y el número crece año tras año en varios millones más. A pesar de no haberse mencionado daños ambientales ni de salud humana o animal durante más de 45 años de estas prácticas con ADN recombinante, se sigue un estricto control caso por caso en la liberación de estos organismos genéticamente modificados (OGM) por la bioseguridad, la cual juega un papel primordial en la previsión de riesgos para con el medio y la sociedad. La opinión pública está dividida en este tema tan controvertido por lo que es necesario que los científicos expliquen con claridad sobre el alcance de las biotecnologías vegetales y formen parte del intercambio de impresiones. En esta reseña se ofrece una perspectiva general sobre la base científica de la obtención de plantas transgénicas, sus posibles beneficios y riesgos, y las opiniones que sobre estas manipulaciones hay en algunas regiones del mundo.

Palabras clave: biotecnologías, seguridad biológica, percepción pública

### ABSTRACT

The new biotechnologies take part of the daily life. Within their branches is the vegetal transgenesis which has revolutionized agriculture, considering itself the superior level of the Green Revolution. The transfer of genes from a specie to another one, from a kingdom to the other has made possible the acquisition, by the plants, of unusual characters having allowed them to survive in inhospitable surroundings, to renew the resources of the substrate, to resist to diseases and plagues, herbicides, hydric stress, to provide better nutrients and phytomedicines where the "green vaccines" stand out. The speed with which these technologies have been developed has allowed taking the transgenic cultures to million hectares in many countries of the world, and the number grows every year. In spite of an absent of reports of environmental damages, nor of human health or animal, for more than 45 years of these practices with recombinant DNA, a strict control is followed case by case in the liberation of these genetically modified organisms (GMO) by the biosecurity, which plays a fundamental role in the prevision of risks towards environment and the society. The public opinion is divided about this subject so controverted. That is why it is necessary that the scientists explain clearly about the reach of the vegetal biotechnologies and get involve in the interchange of impressions.

Key words: biotechnologies, biosafety, public perception

**Abreviaturas:** ADN: ácido desoxirribonucleico, OGM: organismo genéticamente modificado, OVM: organismo vivo modificado

### INTRODUCCIÓN

Las biotecnologías vegetales no son nuevas. Estas se han conformado desde tiempos ancestrales y se han perfeccionado a la luz de cada avance científico en ese campo.

Si bien las manipulaciones realizadas con los distintos cultivos para aumentar su productividad o resistencia a las enfermedades basadas en los cruzamientos y la selección, han dado paso a la moderna transferencia de genes, no por eso las otrora tecnologías que hicieron triunfar a la Revolución Verde (Borlaug, 1969) han caído en desuso. Todo lo

contrario. Se han retomado los conceptos para lograr los mismos objetivos, aunque en un plazo mayor de tiempo, respondiendo así a ciertas exigencias por parte de la población sobre la "agricultura orgánica" y productos "naturales", lo cual redundo en una aceptación mayoritaria a nivel del consumo.

Las biotecnologías modernas plantean nuevos problemas, aunque estos datan ya desde los mismos inicios de la humanidad, y sus consecuencias tienen un gran peso en términos de desaparición de especies y variedades, por lo tanto de la biodiversidad. Las introducciones de especies en todo el mundo, debido a los movimientos migratorios humanos, han

cambiado considerablemente la distribución de las especies y la biodiversidad de numerosas regiones en el planeta, particularmente en los sistemas insulares (Anónimo, 1987).

Estos riesgos no pueden ignorarse, por lo que se debe analizar de manera prospectiva, y lo más exhaustivamente posible, las consecuencias de la obtención y el uso de las plantas transgénicas. Es preciso también recordar que se pueden manipular los genes y obtener los OGM, pero no crear nuevos individuos OGM, a semejanza de Frankenstein. Lo que se pierda ahora lo será para siempre, así será hoy como lo fue en el neolítico (Motou *et al.*, 2000).

Sin embargo, tampoco puede detenerse el desarrollo tecnológico so pena de sufrir un colapso en la sociedad. Para la protección de los bienes de la naturaleza la bioseguridad tiene un papel preponderante estructurada sobre una base jurídica de acuerdo con las exigencias internacionales y en estrecha vinculación con las prácticas y las condiciones existentes en cada país (Rodríguez *et al.*, 2001).

Con la puesta en vigor del "Protocolo de Cartagena" (11 de septiembre de 2003), la bioseguridad en el contexto de las plantas transgénicas tomó un cariz jurídico internacional que permite la toma de decisiones nacionales con respecto a la producción, liberación, transportación, intercambio y comercialización de organismos genéticamente modificados.

El objetivo de este trabajo es dar una panorámica general sobre la obtención de las plantas transgénicas, sus usos y el impacto que esta tecnología ha tenido en la sociedad, la necesidad de continuar con estos procedimientos y la implementación de medidas de seguridad biológica para impedir efectos adversos en el medio ambiente por la transferencia indeseada de genes que pueden desembocar en la aparición de "supermalezas" y en las personas, por una expresión o sobreexpresión de un producto alergénico o tóxico en una planta que sirva de base alimentaria o como fuente de materia prima para elaborar productos farmacológicos o cosméticos (Anónimo, 2003).

## TRANSGÉNESIS VEGETAL

La transgénesis vegetal, como poderosa herramienta biológica, se utiliza para la investigación básica en el estudio de la expresión génica en plantas (Schell, 1987), para facilitar la clonación que sirve como un marcador y también como técnica complementaria para el mejoramiento de las plantas, cuestión esta última de gran importancia y que ha definido el destino de las plantas transgénicas por su interés comercial.

La transformación en plantas está basada generalmente en la introducción de construcciones

plasmídicas o segmentos de éstas en el genoma de la célula vegetal. En este acápite se describirán brevemente sólo algunos de los métodos utilizados y se mencionarán los demás. Para una información más completa puede referirse a Hansen y Wright (1999).

Para conseguir el objetivo planteado, o sea, la planta transformada, es preciso primero dominar las técnicas del cultivo vegetal *in vitro*, lo que posibilita la regeneración de aquellos tejidos vegetales que se han transformado.

### Cultivo *in vitro* de tejido vegetal

Las plantas transgénicas deben ser regeneradas completamente a partir de las células transformadas, lo cual no llega a ser una tarea fácil en muchas ocasiones. Por eso deben desarrollarse previamente protocolos de cultivo *in vitro* de células y tejidos para cada especie, que sean efectivos y permitan obtener las plantas regeneradas a partir de células, tejidos u órganos de la planta en cuestión. En la literatura científica internacional se encuentran los protocolos para casi todas las especies en experimentación. Entre ellas se puede mencionar, para plátano y banano (Dhed'a *et al.*, 1991; Escalant *et al.*, 1998; López *et al.*, 2000), yuca (Medero *et al.*, 2000), café (Jiménez *et al.*, 1995; de Feria *et al.*, 2000), entre otras especies.

### Transformación vía *Agrobacterium*

En este método se aprovechan los mecanismos moleculares naturales de las bacterias *Agrobacterium tumefaciens* y *A. rhizogenes*, que se basan en el principio de la conjugación bacteriana en sentido general. Los plasmidios Ti o Ri poseen una región ADN-T que es llamada de virulencia que contiene varios genes *vir* que codifican para proteínas inducidas por compuestos fenólicos aportados por la planta dañada, y que son los responsables de la transferencia del ADN-T. Los bordes de esta región se reconocen y se cortan en una sola cadena, la cual se protege por proteínas especializadas sintetizadas por uno de los genes *vir*, y es conducida hasta el núcleo de la célula vegetal. El conocimiento de este mecanismo propio del género *Agrobacterium* sirvió para utilizarlo como vector sin que produjera los tumores conocidos, y que transfiriera las secuencias deseadas (Hooykas y Schilperoot, 1992).

Al cultivar los tejidos vegetales infectados en un medio de cultivo que contenga a la vez un agente de selección y los reguladores del crecimiento necesarios para la regeneración, se obtendrán solamente las células que sean capaces de resistir las nuevas condiciones, o sea, las que poseen el gen o los transgenes. Cuando se trata de *A.*

*rhizogenes*, se pueden regenerar las plantas transformadas a partir de la “escoba de bruja” (Birch, 1997; de Andrade *et al.*, 2003).

Como se ha visto, para desencadenar este proceso es necesario que el tejido utilizado sea seccionado para dar oportunidad a la salida de los compuestos fenólicos, que son los causantes directos de la activación de los genes actuantes, por lo que se usan fragmentos o “discos” de hojas, de tallos, ápices, yemas, raíces, embriones, etc. Pero esto no es absoluto. Existen algunas plantas que poseen un sistema vegetativo muy particular, o que poseen semillas muy pequeñas, como es, por ejemplo, la *Arabidopsis thaliana*. En este caso pueden infectarse *in vivo* las semillas en germinación o los ápices de los tallos con la suspensión de *Agrobacterium*. Debido a que los órganos tales como el embrión y el ápice, son muy pequeños en esta planta y poseen pocas células, es de esperar que un número importante de células de la línea germinal sean transformadas, lo cual se ha comprobado con los resultados de las investigaciones. Después de la floración y la autofecundación de esas flores se obtienen embriones transformados que pertenecen a las semillas de esa descendencia (Clough y Bent, 1998).

### Transferencia directa de genes

Como característica general, estas técnicas no necesitan el uso de vectores en particular. La secuencia a transferir debe ser amplificada, lo que conlleva su clonación, al menos, en un plasmidio bacteriano. Claro que el ADN a transferir debe tener una estructura eucariota para que pueda integrarse y expresarse en las células vegetales. El ADN se transfiere entonces directamente a protoplastos, células, tejidos u órganos.

### Transformación por cañón de partículas

El principio de este método es hacer penetrar al ADN a través de la pared celular vegetal, lo cual se hace con un equipo que ha dado en llamarse pistola o cañón de genes (“gene gun” en inglés), que utiliza pequeñísimas partículas de oro o tungsteno recubiertas del ADN a transferir y que se impulsa por diferentes medios, ya sea por aire comprimido por medio de gases inertes como el helio o el argón, la explosión de un cartucho de pólvora o la vaporización instantánea de una gota de agua. Las partículas viajarán a una velocidad adecuada y podrán penetrar al núcleo para permitir la integración del ADN acarreado, o la expresión transitoria (Klein, 1992).

### Transformación por electroporación

Esta es una técnica eficaz y simple, pero tiene la dificultad de la preparación primaria del material

biológico, pues hay que obtener protoplastos con el fin de que pueda ocurrir la transferencia génica, y después regenerar los mismos en medios de cultivo idóneos con formulaciones y condiciones especiales. El método tiene la desventaja de ser caro por la obtención de protoplastos y su posterior regeneración en plantas, lo cual no siempre es factible.

El fundamento de la técnica es someter a la mezcla de protoplastos y ADN a un choque eléctrico de corta duración y de alta tensión lo cual provoca la desestabilización de la membrana plasmática por la polarización de los fosfolípidos que la constituyen e induce la formación de poros, por los cuales pasan las moléculas de ADN. La membrana recobra su estado inicial y el protoplasto se mantiene viable (Fromm *et al.*, 1985).

### Otras técnicas

Las demás técnicas que se han ensayado en células vegetales también son con protoplastos utilizando polietilenglicol (PEG) (Paszkowski *et al.*, 1984) y liposomas (Deshayes *et al.*, 1985), pero se ha demostrado que no son tan eficientes como la “pistola de genes”.

Se han efectuado estudios también con otras técnicas como la transformación a través del polen, sonicación de tejidos, imbibición de embriones y la microinyección directa en el núcleo de los protoplastos, cuyos resultados han sido esporádicos y poco reproducibles (Casse F y Breitler J-C, 2001).

Se debe tener en cuenta que la transferencia de genes capaces de expresarse en las células vegetales no significa que se haya obtenido una planta transgénica. En ciertos casos sólo se observa una expresión transitoria, por eso, para lograr una planta transgénica, la cual tenga en todas sus células el gen transferido, es imprescindible que el ADN foráneo esté integrado en el genoma de la planta y que sea transmitido a sus células hijas (Delbart, 1996).

### Aplicaciones de la transgénesis vegetal

Las aplicaciones de la transferencia de genes en plantas son numerosas si se tiene en cuenta no solo aquellas que son de interés agronómico, sino también las que tienen que ver con la medicina, la recuperación de suelos, la cosmetología, obtención de nuevas variedades ornamentales, entre otras.

Aquí sólo se tratará sobre las aplicaciones agronómicas más conocidas y que tienen el mayor peso en la producción de plantas transgénicas en el mundo que a su vez produce el mayor impacto sobre las opiniones del público.

Entre las características más estudiadas y utilizadas se encuentran: la resistencia a herbicidas, la

resistencia a insectos y la resistencia a microorganismos fitopatógenos como son los hongos, bacterias y virus.

#### *Resistencia a herbicidas*

Para lograr la respuesta de un organismo a un estímulo dado pueden desarrollarse varias estrategias. Dentro de estas se pueden citar: la sobreexpresión de la molécula de interés, la mutación de la misma siendo resistente y la expresión de una enzima capaz de interceder en la cascada metabólica para impedir el desarrollo del evento perjudicial a la planta, sea un producto tóxico o el ataque de un patógeno específico.

La resistencia a herbicidas puede ser alcanzada por las tres estrategias descritas anteriormente (Stalker *et al.*, 1988). Recientemente ha sido descrita otra nueva estrategia donde se usan los genes *gat* (Castle y Lassner, 2004). Teniendo en cuenta que varias sustancias químicas eliminan a las malas hierbas pero también dañan al cultivo, se ha aprovechado la alternativa de las técnicas de biología molecular en la transformación de plantas (Mazur y Falco, 1989).

A continuación se hará referencia solamente al herbicida Glifosato y la estrategia seguida en la obtención del gen que codifica para la molécula que inhibe la acción de este compuesto.

El Glifosato, como herbicida, tiene muchas ventajas sobre los demás herbicidas, es tóxico para la mayoría de las plantas (Wek *et al.*, 1985) y sin efectos para los animales (Baum, 1987). Este herbicida inhibe la biosíntesis de los aminoácidos aromáticos (Kishore y Shah, 1988), siendo un inhibidor competitivo de la enzima 5-enolpiruvilshikimato 3-fosfato sintasa (EPSPS) (Stalker y McBride, 1987).

Se encontró que la tolerancia de ciertas bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium*, así como en la planta *Arabidopsis thaliana*, se debe al gen *aroA* el cual codifica para la EPSPS a niveles mayores de los usuales (Stalker *et al.*, 1985) y también se hallaron genes mutantes de la EPSPS resistentes al glifosato en *Aerobacter aerogenes* (Schulz *et al.*, 1990).

Estas dos estrategias se tomaron para efectuar la transformación genética en plantas. Se obtuvieron variedades que fueron resistentes a la aplicación comercial de Glifosato. Entre los cultivos obtenidos con resistencia están la canola, colza y soya (Anónimo, 2002, 2003).

#### *Resistencia a insectos*

En sentido general, la resistencia a los insectos es conferida a las plantas por genes que codifican para una forma alterada de endotoxinas proteicas que son producidas por ciertas cepas de *Bacillus thuringiensis*.

En la naturaleza existen diversas formas de estas toxinas que son activas en diferentes especies de insectos. Las plantas modificadas genéticamente resistentes a insectos portan genes tales como el *cry1(A)*, cuyo producto es específicamente tóxico para los lepidópteros. En 1987 se publicó la obtención de plantas transgénicas resistentes a insectos por tres compañías diferentes, la Plant Genetic Systems (Vaeck *et al.*, 1987), Agrevo (Barton *et al.*, 1987) y Monsanto (Fischhoff *et al.*, 1987).

Las bacterias productoras de esas toxinas se han utilizado por más de 45 años como pesticidas, lo mismo en invernaderos que en cultivos a cielo abierto, inclusive, las pulverizaciones de estas bacterias se han autorizado oficialmente a los productores de cultivos "biorgánicos" (Chesson y James, 2000).

#### *Resistencia a microorganismos fitopatógenos*

En el caso de la resistencia a los microorganismos fitopatógenos se han desarrollado diversas estrategias que permiten la tolerancia, sobre todo a los virus, bajo el concepto de la resistencia derivada del patógeno que tiene como objetivo entorpecer el ciclo viral por la presencia de un ARN o de una proteína viral en un lugar y momento adecuado (Sanford y Johnston, 1985). La resistencia puede ser obtenida también por la expresión de otras proteínas virales mutadas, no funcionales como en el caso de la replicasa (Baulcombe, 1994; Brederode *et al.*, 1995) y también la proteína de movimiento (Lapidot *et al.*, 1995).

Existen otras estrategias que no están relacionadas con la síntesis de proteínas, como es la expresión de ARN antisentido o de ARN satélite y también las del ARN de interferencia (Surain, 1998).

Para la resistencia a hongos y bacterias se han construido genes quiméricos (Lamb *et al.*, 1992) basados en la expresión de quitinasas (Brogliè *et al.*, 1991), glucanasas (Zhu *et al.*, 1994), ambas (Shah *et al.*, 1995), así como proteínas que inactivan a los ribosomas (Logeman *et al.*, 1992), fitoalexinas (Fisher y Hain, 1994) y otros.

#### *Otras aplicaciones*

Se ha logrado modificar la composición en aminoácidos de las proteínas de diversos cultivos para que se expresen más los esenciales, con lo cual mejora el valor nutricional de la planta, al añadir también vitaminas, como es el caso del arroz "dorado" (Gura, 1999) que es capaz de expresar niveles significativos de  $\beta$ -caroteno, y el cambio de composición de los ácidos grasos al expresar omega-3 y omega-6 propios de los peces (Qi, 2004).

También se han transformado plantas con el fin de utilizarlas como fitoremediadores, detectores de

toxicidad ambiental y fitofármacos. Se refiere al lector a los trabajos de Bustamante *et al.* (1991), Kovalchuk *et al.* (2001) y Sasson (2001) para más información.

## PERCEPCIÓN PÚBLICA

Después de haber revisado sucintamente las bases fundamentales de la transgénesis en plantas y sus aplicaciones, se verá ahora el impacto que ésta ha tenido en la población humana en cuanto a los posibles riesgos que pudieran significar dichas tecnologías del ADN recombinante, tanto para los humanos y animales como para el medio ambiente.

### Riesgos del cultivo en el campo

El riesgo de escape de un organismo vivo modificado (OVM) tiende a disminuir en condiciones controladas de confinamiento, sin embargo, no debe ser descuidado el control que se ejerza sobre éstos en los alrededores de las instalaciones dedicadas a esos menesteres, para detectar rápidamente la eventualidad de un escape accidental. Se hará referencia a los riesgos que pudieran correrse con los cultivos transgénicos en campo abierto, o sea, la liberación intencional de los OVM al medio ambiente.

#### Riesgo ecológico

1. Transferencia génica con especies emparentadas que pueden cambiar el balance del ecosistema en una región dada.

Puede citarse, por ejemplo, la transferencia del gen de resistencia a un herbicida total hacia una maleza, por lo que deben practicarse evaluaciones que permitan prever los efectos indeseables como el descrito anteriormente (Phipps y Bennett, 2004) o la resistencia a virus (Fuchs *et al.*, 2004).

2. Efecto sobre la población de insectos útiles. Este ha sido quizás, uno de los puntos más controversiales con respecto a las plantas transgénicas. Es bien conocido el impacto que causó la publicación de un artículo en la revista Nature (Losey *et al.*, 1999) sobre el daño que causa el polen transgénico a la mariposa Monarca (*Danaus plexippus*). Los resultados de este estudio fueron refutados inmediatamente por nuevas investigaciones que se realizaron con todo rigor científico y que se toman como base para el análisis de riesgo en estos insectos (Sears *et al.*, 2001; Losey *et al.*, 2003).

Es de considerar también la presión de selección que pudiera ejercerse sobre la resistencia a las proteínas de *Bacillus thuringiensis*, que expresen las plantas transgénicas, por parte de los insectos diana (Mason *et al.*, 2003).

3. La transferencia de ADN en forma horizontal a las bacterias del suelo.

Se sabe que la transferencia de ADN a partir de las plantas transgénicas a las bacterias del medio ambiente ocurre en ciertos casos, aunque limitados, lo cual indica que existe un factor de riesgo real. Las investigaciones en este campo se ven limitadas por los sistemas de detección y las condiciones ambientales que determinan el comportamiento de la interrelación entre los factores desencadenantes de la transferencia (Bensasson *et al.*, 2004; Nielsen *et al.*, 2004). Una de las medidas que se ha tomado con respecto a los genes marcadores de selección de resistencia a los antibióticos, es no utilizarlos en las construcciones finales que pasarán al OGM.

Teniendo en cuenta estos factores se ha dado en clasificar a las plantas transgénicas en tres categorías (Ahl y Duesing, 1996):

- Clase 1- las que poseen genes transferidos que no le confieren ninguna ventaja selectiva: esterilidad masculina, inhibidor de floración, enriquecimiento de un aminoácido determinado.
- Clase 2- las que poseen genes transferidos que le pueden conferir a la planta una ventaja selectiva moderada en condiciones de cultivo específico.
  - Subclase 2a comprende los caracteres que no confieren ninguna ventaja específica fuera de una presión de selección aplicada en un contexto agrícola como son los genes de resistencia a los herbicidas.
  - Subclase 2b es la que representa los caracteres donde la ventaja puede manifestarse en toda ocasión, aquí están los genes de resistencia a bacterias, virus, hongos y diversos estrés.
- Clase 3- las que poseen una fuerte ventaja selectiva por los genes que expresan: los que transmiten una ganancia en vigor, fecundación, floración más prematura y otros.

Claro que para la evaluación del riesgo ecológico la influencia de esta clasificación estará regulada por otros factores como los cruzamientos sexuales (alogamia, autogamia), las distancias de polinización, los riesgos de diseminación de semillas, su resistencia y su dormancia, la existencia de especies naturales interfértiles, la invasividad propia de las variedades derivadas de las plantas transgénicas.

#### Riesgo económico

En sentido general, los dueños de las grandes compañías biotecnológicas, son las que han identificado el riesgo económico más importante para ellos, y es el temor y la incertidumbre en la población humana con respecto a las plantas transgénicas y sus productos derivados. Todo esto puede conducir a un fracaso comercial, por lo que la

información clara y sincera es el mejor medio para prevenir y así evitar las interpretaciones erróneas.

Otro riesgo que se plantea es el “escape” de genes a variedades que no son objeto de la transgénesis, lo cual puede desencadenar un cuadro ambiental difícil de resolver, como sería la transferencia de la resistencia a un herbicida total en una maleza altamente invasiva (Kahn, 1996).

#### *Riesgos tóxicológicos*

Es necesario que las plantas transgénicas que servirán para el consumo humano ya sea en forma fresca o procesada por calor, pasen las pruebas de toxicidad con el fin de reducir al mínimo el riesgo de una intoxicación, por lo que debe investigarse sobre todo si la planta está sobreexpresando compuestos propios o que el transgen posee un nivel conocido de toxicidad en su expresión. Los análisis deben hacerse, por ejemplo, en las plantas que sobreexpresan proteínas relativas a la defensa contra fitopatógenos. Al igual se procede con las proteínas que no son comunes en la dieta humana, como es el caso de las proteínas marcadoras (GFP) (Stewart *et al.*, 2000).

#### *Riesgo alérgico*

Aquí se debe conocer lo que es el “nivel de riesgo aceptable” en la alimentación. Se ha estimado que aproximadamente el 1-2 % de los adultos y el 6 % de los niños son alérgicos a uno o varios de los alimentos de los ocho grupos nutricionales (crustáceos, nueces, huevos, pescado, leche, cacahuetes, soya y trigo). Si se tienen en cuenta estos datos, se puede pensar que es poco probable el que una planta transgénica pueda variar esta situación. Siempre existe la posibilidad de que alguna o varias personas sean alérgicas a cierta proteína o grasa (aceite). Pero siempre está presente el riesgo de desencadenar reacciones alérgicas inesperadas, por eso las normas de bioseguridad deben aplicarse severamente en cada caso. Es bien conocido el hecho de la transferencia del gen que codifica para la albúmina de la nuez del Brasil hacia la soya, lo cual desencadenó una severa respuesta alérgica en los individuos que consumieron la soya transgénica y eran alérgicos a su vez, a la nuez del Brasil (Nordlee *et al.*, 1996).

#### **Seguridad alimentaria**

Este es uno de los temas más sensibles para toda persona, pues la alimentación es sinónimo de vida. La población se preocupa cada vez más no sólo por la cantidad de alimentos para consumir, si no por su calidad, el contenido de nutrientes, la manera de cultivar las plantas, lo que ha promovido más adeptos a la selección de productos agrícolas “orgánicos”, o sea, cultivados sin plaguicidas, herbicidas ni abonos

químicos. Esto puede ser una opción, pero para una minoría, pues los alimentos logrados de esta manera suelen ser más caros y los rendimientos bien pobres, lo cual no resolverá de ninguna manera la producción de alimentos para una población creciente y con una reducida cantidad de terrenos cultivables. Por tanto, la transgénesis en plantas es una opción que ha mostrado dar sus dividendos favorables, pero debe ser sujeta a estudios rigurosos para reducir el riesgo de accidentes tóxicos o alérgicos por esta tecnología (Schalenburg, 2003).

#### *Equivalencia substancial*

Lo que se hace comúnmente es la comparación de la composición de la planta transgénica que haya sido cultivada en varios lugares, durante dos épocas o estaciones, con la planta no transgénica, cultivada cerca de la transgénica. Aquí se evalúa el contenido en proteínas, lípidos y glúcidos, lo cual no muestra gran cosa, por lo que queda una pregunta por hacer: ¿a partir de qué nivel las pequeñas modificaciones de las concentraciones o de la composición de esos elementos pueden representar un riesgo complementario para la salud humana, y por qué?

Se puede decir que aún no se cuenta con técnicas totalmente fiables para hacer análisis de este tipo (Chesson y James, 2000).

#### **Concepciones religiosas**

Pudiera pensarse que las acciones del hombre sobre la naturaleza sólo tienen el ojo crítico de las organizaciones ambientalistas, los partidos verdes, público en general que se interesa por el bienestar, pero no a costa de la naturaleza. Sin embargo, el pensamiento religioso también está analizando estas nuevas tecnologías, juzgando sus pro y sus contra y, sobre todo, si se aviene con sus creencias, sus dogmas, sus convicciones.

Tómese como ejemplo una planta transgénica que expresa una proteína animal, de cerdo, específicamente la insulina; ¿cómo reaccionaría un musulmán ante este hecho, tratándose incluso de una vía medicamentosa que puede salvarle la vida?, simplemente la rechazaría, porque un musulmán no puede consumir carne de cerdo ni nada que la contenga. Esto se aplicaría igualmente para los xenotransplantes, provenientes los órganos de este animal.

Como se puede apreciar, no es un asunto sencillo. Ahora, ¿cuáles son los puntos de vista de la Iglesia Católica?

La multiplicación de los panes y los peces en el desierto por Jesús, para dar de comer a la multitud que le seguía (Nuevo Testamento, Mateo 14:19), puede tomarse como una paráfrasis de las

biotecnologías actuales, nótese que se trata de una clonación, dicho en términos modernos. Sin embargo, otra cosa es la transgénesis, sobre lo cual aún no se ha pronunciado el Vaticano oficialmente, pero ya existen criterios de que la Santa Sede se inclina a favor de los OGM para “luchar contra el hambre” en el mundo. Por otra parte, las iglesias católicas de otros países, como los europeos y parte de los asiáticos más Oceanía, difieren de estos pronunciamientos y alertan al Vaticano en contra de los OGM, haciendo la aclaración de que los OGM no resolverán el problema del hambre en el mundo ya que es la pobreza la que genera el hambre y la malnutrición, y con ella es contra la que se debe luchar (OnlineCatholics, 2004).

De todas maneras, es de esperar que el Vaticano demorará en proclamar su punto de vista oficial, y que consulte con las demás organizaciones católicas antes de pronunciarse.

### **La ciencia al alcance del público**

En 1999 se desató una controversia por un científico inglés quien anunció que las papas transgénicas en experimentación habían provocado daños específicos en las ratas de ensayo (Ewen y Pusztai, 1999).

La publicación de este artículo más el de la larva de la mariposa Monarca, tratado más arriba, provocó una explosión de opiniones adversas con respecto a las plantas transgénicas.

Estos casos enseñan que se debe educar a la población y ser muy transparente en los planteamientos científicos, donde el lenguaje sea sencillo, no vulgar, claro y convincente. Las personas no especialistas en la materia deben conocer con la suficiente profundidad a qué se están enfrentando y así poder tomar decisiones acertadas. Los científicos deberán abstenerse de sembrar dudas, hacer declaraciones sin fundamento o dar resultados no concluyentes, todo esto no sirve más que para confundir, lo cual conlleva a inducir la desconfianza no sólo en los hombres de ciencia sino también en las instituciones que estos representan.

En resumen, debe haber un contacto permanente con el público y mantenerlo informado sobre los últimos avances de la ciencia.

### **BIOSEGURIDAD**

La bioseguridad tiene por objetivo primordial la protección del hombre, su salud, el medio ambiente, debe sentar las pautas sobre las cuales deben erigirse las reglamentaciones que permitan actuar con responsabilidad, y evaluar todos los riesgos posibles en cada caso particular.

Una particularidad de la bioseguridad es que ésta no ha sido creada para paliar los inconvenientes derivados de la ingeniería genética, si no para prevenir los riesgos potenciales que esta nueva tecnología pueda presentar (Rodríguez *et al.*, 2001).

### **Papel de la bioseguridad en la liberación de plantas transgénicas**

En sentido general, la liberación de plantas transgénicas cumple dos etapas: la primera es la liberación en condiciones controladas bajo confinamiento, donde se realizan ensayos moleculares, pruebas preliminares de resistencia, caracterización fenotípica y genotípica con respecto a los caracteres de interés. En este momento se deben cumplir esmeradamente las regulaciones establecidas para impedir el “escape” de plantas o fragmentos de estas, o sus productos. En la segunda etapa las plantas son llevadas a campo, en un área controlada, cercada, con acceso restringido donde se evaluarán las características agronómicas de estos OGM, el comportamiento del nuevo carácter que se le transfirió (L'Heureux y Menrad, 2004).

Por otra parte se deberá evaluar el entorno en el área del cultivo experimental de las plantas transgénicas, la interacción de estas con el medio ambiente y cómo influye en este, teniendo en cuenta el flujo de genes, si se trata de plantas con reproducción sexual, para lo cual debe tenerse un censo de las plantas que se hallen en los alrededores y su relación o no de parentesco. También se llevarán a cabo análisis moleculares no sólo en las plantas de experimentación si no también en aquellas que tengan relación de parentesco o sean de la misma especie no transgénicas (Chilcutt y Tabashnik, 2004).

Debe tenerse en cuenta que hay un factor que a veces no se evalúa y puede ser de gran importancia, este es el “pillaje”, término utilizado en la apicultura para describir la acción de las abejas que no pertenecen a la colmena que visitan y se roban el producto de las vecinas. O sea, el hurto de plantas o semillas para sembrarlas en áreas no controladas. Esto suele ser un problema real que conlleva a graves consecuencias, de ahí que se deben evaluar molecularmente algunas de las plantas de los pequeños agricultores que sean vecinos de estas áreas experimentales.

No puede olvidarse el estudio sobre la evaluación del impacto de las plantas transgénicas para prevenir eventos indeseables en especies no relacionadas con el experimento (Cowgill y Atkinson, 2004).

### **CONCLUSIONES**

A la velocidad con la cual se está desarrollando la biotecnología vegetal, comprendida la ingeniería genética, es imposible detener el avance de las

plantas transgénicas, es decir, éstas llegaron para quedarse a pesar de las opiniones en contra, las dificultades creadas para su aceptación en diversos países y el boicot de ciertas organizaciones. Ya los países asiáticos han entrado en esta carrera y China se está destacando como puntera en la siembra de varios cultivos transgénicos al ocupar los primeros lugares con Estados Unidos, Argentina y Canadá (ISAAA, 2003).

Pero no se puede cifrar esperanzas pensando que esta tecnología será capaz de alimentar a la población creciente. Mientras no cese la desigualdad y la pobreza, esto no sucederá aunque todos los cultivos sean transgénicos, el pobre seguirá sin acceso a los alimentos y la situación no cambiará, salvo que las grandes compañías productoras y comercializadoras se harán más ricas.

La transgénesis en plantas es una opción más que deberá ser aplicada cuando no se encuentra otra solución, debe servir también como complemento al mejoramiento genético tradicional para alcanzar resultados ventajosos que sean beneficiosos para el medio ambiente, los animales y, por consiguiente, al hombre.

Aunque se conoce la experiencia propia de Estados Unidos, que desde 1987 tiene cultivos transgénicos comerciales y no se ha detectado ninguna anomalía en el medio ambiente ni en la salud humana y animal, no se debe dejar de tomar todas las precauciones en cada experimento y cumplir las regulaciones de la bioseguridad. El estudio de evaluación de riesgos es definitivamente un útil de trabajo que permite tomar medidas preventivas para evitar cualquier accidente ambiental.

Hace falta disponer de mecanismos científicos y políticos, actualizarlos en la medida que progresan los avances científicos, para garantizar a la población que puede tener confianza en los nuevos derroteros de la ciencia, y que forme parte de un constante cambio de impresiones.

## REFERENCIAS

- Ahl P y Duesing J H (1996) Assessing the environmental impact of gene transfer to wild relatives. *Biotechnology* 14: 39-40
- Anónimo (1987) Le risque biotechnologique. Ministère de l'Environnement. Paris
- Anónimo (2002) Bilan des OGM cultivés dans le monde. Lettre d'Information sur les plantes transgéniques. 5 : 5-6
- Anónimo (2003) La situation des OGM dans le monde. Lettre d'information sur les plantes transgéniques. 6 : 4-5
- Anónimo (2003) European Views on Agricultural Biotechnology: An Overview of Public Opinion. KRC Research, January. London
- Anónimo(2004)Vatican GM food conference a disgrace. <http://onlinecatholics.com.au> (19) 29 september. Consultado online
- Barton K A, Whiteley H R y Yong N S (1987) *Bacillus thuringiensis*  $\delta$ -endotoxin expressed in transgenic *Nicotiana tabacum* provides resistance to lepidopteran insects. *Plant Physiol.* 85: 1103-1109
- Baulcombe D C (1994) Replicase-mediated resistance: a novel type of virus resistance in transgenic plants? *Trends Microbiol.* 2: 60-63
- Baum MR (1987) Agricultural biotechnology advances toward commercialization. *New Focus*
- Bensasson D, Boore J L y Nielsen K M (2004) Genes without frontiers? *Heredity* 92: 483-489
- Birch R G (1997) Plant transformation: problems and strategies for practical application. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48: 297-326
- Borlaug N (1969). A green revolution yields a golden harvest. *Columbia J. World Business* 4: 9-19
- Brederode F T, Taschner P E M, Posthumus E y Bol J F (1995) Replicase-mediated resistance to alfalfa mosaic virus. *Virology* 207: 467-474
- Brogie K, Chet I, Hollyday M, Cressman R, Biddle P, Knowlton S, Mauvais C J y Broglie R (1991) Transgenic plants with enhanced resistance to fungal pathogen *Rhizoctonia solani*. *Science* 254: 1194-1197
- Casse F y Bretiler J-C (2001) OGM. Description, méthodes d'obtention, domaines d'application. Éditions France Agricole. Paris
- Castle L A y Lassner M W (2004) A new strategy for glyphosate tolerant crop plants. *ISB News Report.* Sept. pp. 6-8
- Chesson A y James P (2000) Les aliments avec OGM sont-ils sans danger? *La Recherche* 327: 27-35
- Chilcutt C F y Tabashnik E (2004) Gene flow from transgenic *Bt* corn to non-*Bt* corn refuges. *ISB News Report* 7: 1-4
- Clough s y Bent A (1998) Floral dip : a simplified method for *Agrobacterium*- mediated transformation of *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal* 16 (6): 735-743
- Cowgills, S y Atkinson H (2004) Assessing the impact of GM plants: the effect of transgenic protease inhibitors on non-target invertebrates. *ISB News Report* 6: 1-3
- de Andrade, G M , Sartoretto L M y Brasileiro A C M (2003) *Biologia Molecular do Processo de Infecção por Agrobacterium spp.* *Fitopatol. Bras.* 28(5): 465-476
- De Feria M, González E, Barbón R, Capote A, Chávez M Y Mendoza e (2000) Multiplicación de suspensiones celulares embriogénicas de *Coffea arabica* cv. Catimor 9722. *Biocología Vegetal* 1:13-20
- Delbart F C (1996) Transgénèse végétale. En : Dix ans d'expériences de la Commission du Génie Biomoléculaire. pp. 62 Ed. Jophn Libbey, Eurotext. Paris
- Deshayes A, Herrera-Estrella L y Caboche M (1985) Liposome mediated transformation of tobacco mesophyll protoplasts by an *Escherichia coli* plasmid. *EMBO J.* 4: 2731-2737
- Dhed'a D, Panis B, Vuylsteke D y De Langhe E (1991) Plant regeneration in cell suspension cultures of the cooking banana cv. "Bluggoe" (*Musa* spp. ABB group). *Fruits* 46 (2): 125-135
- Escalant, J V, Teisson C y Côte F (1994) Amplified somatic embryogenesis from male flowers of triploid banana and plantain cultivars (*Musa* spp.). *In Vitro Cell Dev. Biol.* 30 : 181-186

- Ewen S W B y Pusztai A (1999) Effects of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestines. *Lancet* 354: 1353-1355
- Fischhoff DA, Bowdish K S, Perlak F J, Marrone P G, McCormick S M, Niedermeyer J G, Dean DA, Kusano-Kretzmer K, Mayer E J, Rochester D E, Rogers S G y Fraley R T (1987) Insect tolerant transgenic tomato plants. *Bio/Technology* 5: 807-813
- Fisher R y Hein R (1994) Plant disease resistance resulting from the expression of foreign phytoalexins. *Cur. Op. Biotechnol.* 5: 125-130
- Fromm M, Taylor L P y Walbot V (1985) Expression of genes transferred into monocot and dicot plant cells by electroporation. *Proc Natl Acad Sci USA* 82: 5824-5828
- Fuchs M, Chirco E M y Gonsalves D (2004) Movement of coat protein genes from a commercial virus-resistant transgenic squash into a wild relative. *Environ. Biosafety Res.* 3: 5-16
- Grapin A, Ortiz J L, Domergue R, Babeau J, Monmarson S, Escalant J V, Teisson C y Côte F (1998) Obtención de callos embriogénicos, iniciación y regeneración de suspensiones celulares embriogénicas a partir de flores inmaduras masculinas y femeninas de *Musa*. *Infomusa* 7 (1) : 13-15
- Gura T (1999) Golden rice. *Science* 285: 994-995
- Hansen C y Wright M S (1999) Recent advances in the transformation of plants. *Trends Plant Sci.* 4: 226-231
- Hooymaas P J J y Schilperoort R (1992) *Agrobacterium* and plant genetic engineering. *Plant Mol. Biol.* 19: 15-38
- Hurtado D y Merino M E (1987) Cultivo de tejidos vegetales. (Ed) Trillas, México D.F.
- ISAAA (2003) <http://www.isaaa.org/> International service for the acquisition of Agri-biotech applications
- Jiménez E, de Fera M, Barbón R, Capote A y Chávez M (1995) Empleo de biorreactores para la producción de embriones somáticos de café (*Coffea arabica* cv. Catimor). *Advances in Modern Biotechnology* 3.II.2
- Jona R y Menini O G (1987) Tissue culture of selected tropical fruit plants. FAO, Roma
- Kahn A (1996) Risques associés à la culture au champ des plantes transgéniques. En: Dix ans d'expérience de la Comisión du Génie Biomoléculaire. pp. 44-48. Ed. John Libbey Eurotext. Paris
- Kishore M y Shah D (1988) Amino acid biosynthesis inhibitors as herbicides. *Ann. Rev. Biochem.* 57: 627-663
- Klein TM, Arentzen R, Lewis P A y Fitzpatrick Mc E S (1992) Transformation of microbes, plants and animals by particle bombardment. *Bio/Technology* 10: 286-291
- Kovalchuk I, Kovalchuk O y Hohn B (2001) Biomonitoring the genotoxicity of environmental factors with transgenic plants. *Trends Plant Science* 6 (7): 306-310
- Lamb C J, Ryals J A, Ward E R y Dixon R A (1992) Emerging strategies for enhancing crop resistance to microbial pathogens. *Bio/Technology* 10: 1436-1445
- Lapidot M, Gafny R, Ding B, Wolf S y Beachy R N (1995) A dysfunctional movement protein of tobacco mosaic virus that partially modifies the *plasmodesmata* and limits virus spread in transgenic plants. *Plant J.* 4: 959-970
- L'Heureux K y Menrad K (2004) A decade of European field trials with genetically modified plants. *Environ. Biosafety Res.* 3 : 99-107
- Logemann J, Jach G, Tommerup H, Mundy J y Schell J (1992) Expression of a barley ribosome-inactivating protein leads to increased fungal protection in transgenic tobacco plants. *Bio/Technology* 10: 305-314
- López J, Montano N, Swennen R, Ventura J, Schoofs H, Medero V, García M, Espinoza L y Cabrera M (2000) Establecimiento de suspensiones celulares en plátanos vianda del grupo (AAB). *Biocología Vegetal* 1: 59-62
- Losey J E, Rayor L S y Carter M E (1999) Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399: 214
- Losey J E, Hufbauer R A y Hartzler R G (2003) Enumerating lepidopteran species associated with maize as a first step in risk assessment in the USA. *Environ. Biosafety Res.* 2: 247-261
- Mason P, Braun L, Warwick S I, Zhu B y Stewart N (2003) Transgenic *Bt*-producing *Brassica napus*: *Plutella xylostella* selection pressure and fitness of weedy relatives. *Environ. Biosafety Res.* 2: 263-276
- Mazur J y Falco S (1989) The development of herbicide resistant crops. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 40: 441-470
- Medero V, Borroto C, Rodríguez S, Gómez R, López J, García M, Ventura J-C, Espinoza L, Cabrera M, Martínez M, Torres M, Torres Y, Alvarez M y García J (2000) Embriogénesis somática a partir de meristemas axilares en yuca. *Biocología vegetal* 1: 21-26
- Moutou F, Boireau P y Machado J (2000). Las biotecnologías ¿de qué se trata?, *Biófila* (2): 48-54
- Nielsen K M y Townsend J P (2004) Monitoring and modeling horizontal gene transfer. *Nature Biotechnology* 22 (9): 1110-1114
- Nordlee J A, Taylor S T, Townsend J A, Thomas L A y Bush R K (1996) Identification of a Brazil-nut allergen in transgenic soybean. *N. Engl. J. Med.* 334: 688-692
- Paszowski J, Shillito R D, Saul M, Mandak V, Hohn T, Hohn B y Potrykus I (1984) Direct gene transfer to plants. *EMBO J.* 3: 2717-2722
- Pérez J N (1998). Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Santa Clara
- Phipps R y Bonnett R (2004) Comparing environmental and health burdens of traditional vs. GM beet. *ISB News Report* 4: 2-4
- Qi B (2004) Transgenic plants produce omega-3 and omega-6 fatty acids. *ISB News Report* 7: 6-9
- Rivera R, Torres I, Garzón J A y Herrera-Estrella L (ed.) (1991) Introducción a la biología molecular e ingeniería genética de plantas. Ed. Celaya 1ª edición, Guanajuato, México
- Rodríguez J, Argote E y Rodríguez O (2001). Temas de seguridad biológica. Ed. Félix Varela, La Habana
- Rosell C y Villalobos V (1990) Fundamentos teórico-prácticos del cultivo de tejidos vegetales. FAO, Roma
- Sanford J C y Johnston S A (1985) The concept of parasite-derived resistance. Deriving resistance genes from the parasite's own genome. *J. Theor. Biol.* 113: 395-405
- Sasson A (2001) Cultivos transgénicos: hechos y desafíos. *Elfos Scientiae*, La Habana
- Schalenbourg W (2003) Promises, benefits and risks of GMO. *IAAS World* 1: 10-13
- Schell J (1987) Transgenic plants as tools to study the molecular organization of plant genes. *Science* 237: 1176-1183

- Schulz A, Wengenmayer F y Goodman M (1990) Genetic engineering of herbicide resistance in higher plants. *Critical Rev. of Plant Sciences* 9: 1-15
- Sears M K, Hellmich R L, Stanley-Horn D E, Oberhauser K S, Pleasants J M, Mattila H R, Siegfried B D y Dively G P (2001) Impact of *Bt* corn pollen on monarch butterfly populations: a risk assessment. *PNAS* 98 (21): 11937-11942
- Shah D M, Rommens C M T y Beachy R N (1995) Resistance to diseases and insects in transgenic plants: progress and applications to agriculture. *TIBTECH* 13 (9): 362-368
- Stalker M D, Hiatt W y Comai L (1985) A single substitution in the enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphosynthase confers resistance to the herbicide glyphosate. *J. Biol. Chem.* 260: 4724-4728
- Stalker M D y Mc Bride M (1987) Cloning and expression in *Escherichia coli* of a *Klebsiella ozaenae* plasmid-borne gene encoding a nitrilan specific for the herbicide bromoxinil. *J. Bacteriol.* 169: 955-960
- Stalker DM, McBride K E y Malyj LD (1988) Herbicide resistance in transgenic plants expressing a bacterial detoxification gene. *Science* 242: 419-422
- Stewart C N, Richards, H A y Halfhill M D (2000) Transgenic plants and biosafety: science, misconceptions and public perceptions. *Biotechniques* 29 (4): 832-843
- Suram M A (1998) Imprinting and the initiation of gene silencing in the germ line. *Cell* 93: 309-312
- Tepfer D (1984) Transformation of several species of higher plants by *Agrobacterium rhizogenes* : sexual transmission of the transformed genotype and phenotype. *Cell* 37: 959-967
- Vaeck M, Reynaerts A, Höfte H, Jansens S, De Beuckeleer M, Dean C, Zabeau M., Van Montagu M y Leemans J (1987) Transgenic plants protected from insect attack. *Nature* 327: 33-37
- Wek R, Hauser C y Hatfield G (1985) The nucleotide sequence of the *ilvBN* operon of *Escherichia coli* : sequence homologies of the acetohydroxyacid synthase isozymes. *Nucleic Acids Res.* 13: 3995-4010
- Zhu Q, Maher E A, Masoud S, Dixon R y Lamb C J (1994) Enhanced protection against fungal attack by constitutive co-expression of chitinase and glucanase genes in transgenic tobacco. *Bio/Technology* 12: 807-812