

Biotecnología: Ventajas y desventajas para la agricultura

Biotechnology: Advantages and disadvantages for agriculture

Sánchez-Cuevas, Maria Claudia

Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Núcleo de Monagas, Universidad de Oriente,
Maturín, 6201, estado Monagas. *Campus* Universitario Los Guaritos, Av. Universidad. Tlf. 0291-6521192.
E-mail: mariaclaudia@cantv.net

RESUMEN

En la actualidad estamos en la llamada "Era Biotecnológica", basada en la genética molecular. La era biotecnológica ya ha dado frutos iniciales espectaculares y se esperan grandes innovaciones a corto plazo, con grandes repercusiones comerciales. La biotecnología es toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos. La ingeniería genética ha permitido identificar y aislar genes específicos del ADN en el organismo donante mediante enzimas de restricción que actúan como "tijeras químicas", transferir el gen aislado del ADN del organismo receptor mediante enzimas, logrando que el organismo receptor decodifique la nueva información y produzca una nueva proteína que le va a permitir adquirir una nueva propiedad o rasgo. Hasta el presente se han producido plantas resistentes a insectos-plaga y patógenos; mejores productos, como frutos con prolongado período de almacenamiento; productos con mejores propiedades nutritivas, como un mayor contenido de proteínas, aceites, aminoácidos, etc.; y con mejoras industriales, como un mayor contenido de sólidos de los frutos. En general, los agricultores que han empezado a sembrar cultivos transgénicos están satisfechos. El área sembrada con cultivos transgénicos también se ha incrementado rápidamente. La extensión sembrada en 1999 (27,8 millones de ha) sufrió un 44% de aumento en un año. Los ecólogos y biólogos señalan que la introducción de genes de especies no relacionadas no es lo mismo que el mejoramiento tradicional, pues se saltan barreras naturales y se crean combinaciones que no existen en la naturaleza, dando lugar a individuos "artificiales", que violan las leyes naturales que impiden el cruzamiento entre organismos biológicamente diferentes. Los biotecnólogos indican que la ingeniería genética es una técnica precisa, pues se introduce ADN bien caracterizado, mientras que en el mejoramiento tradicional se transfiere el carácter buscado junto con mucho material genético sin caracterizar, del que se desconocen sus impactos. Los datos preliminares sobre el uso de cultivos transgénicos de "primera generación" señalan que los caracteres adquiridos permiten incrementar la productividad a nivel de campo, bien sea reduciendo los insumos requeridos o aumentando los rendimientos.

Palabras claves: Biotecnología, ingeniería genética, plantas transgénicas.

ABSTRACT

At the present, we are in the "Biotechnological Era" based on the molecular genetics. It has already given spectacular initial successes and short term big innovations are expected, with huge commercial repercussions. The biotechnology is all technological application that uses biological systems and alive organisms or its derivatives for the creation or modification of products or processes for specific uses. The genetic engineering has allowed to identify and to isolate specific genes of the DNA in the donating organism by means of restriction enzymes that act as "chemical scissor", to transfer the isolated gene of the DNA of receiving organism by means of enzymes, achieving that receiving organism decodes the new information and produces a new protein that will allow it to acquire a new trait or feature. So far, resistant plants to insects and pathogen have been produced; better products, as fruits with lingering period of storage; products with better nutritious properties, as a bigger content of proteins, oils, amino acids, etc.; and with industrial improvements, as a bigger content of fruit solids. In general, farmers that have begun to sow transgenic crops are satisfied. The area sowed with transgenic crops has also been increased quickly. The extension sowed in 1999 (27.8 millions ha) increased to 44% in one year. The ecologists and biologists point out that the introduction of genes of non related species is not the same that the traditional breeding, because natural barriers are jumped and combinations are created that don't exist previously in the nature, giving place to "artificial" individuals that violate natural laws that impede the crossing among biologically different organisms. Biotechnologists point out that the genetic engineering is a precise technique, because well characterized DNA is introduced, while in the traditional breeding, the desirable character is transferred together with much material genetic without characterizing, of which their impacts are unknown. The preliminary data about the use of transgenic crops of "first generation" indicate that acquired traits allow them to boost the productivity at field level, well be reducing the required inputs or increasing yields.

Kew words: Biotechnology, genetic engineering, transgenic plants.

INTRODUCCIÓN

La agricultura en el siglo XX sufrió grandes cambios debido a la creación y liberación de variedades selectas mediante hibridación (utilizando las Leyes de Mendel), la mecanización extensiva y la aplicación de productos químicos (fertilizantes y plaguicidas) que permitieron la siembra de estas variedades mejoradas en grandes extensiones. Estos cambios dieron pie a la llamada “revolución verde” en los años sesenta, caracterizada por prácticas de cultivo intensivas utilizando híbridos, abonos y plaguicidas químicos a fin de satisfacer los altos requerimientos de insumos de estos cultivos, generando un incremento en la producción, pero con altos costos económicos y severos daños al medio ambiente.

En la actualidad estamos en la llamada “Era Biotecnológica”, basada en la genética molecular. La era biotecnológica ya ha dado frutos iniciales espectaculares y se esperan grandes innovaciones a corto plazo, con grandes repercusiones comerciales. La biotecnología es toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos. La humanidad ha venido utilizando algunas prácticas biotecnológicas desde hace miles de años para la producción de bebidas alcohólicas, pan, queso, yogurt y vinagre, entre otros. Los métodos modernos de biotecnología abarcan el cultivo de tejidos, las técnicas inmunológicas, la genética molecular y las técnicas del ADN recombinante.

La biotecnología promete aumentar la productividad creando plantas adaptadas a su medio ambiente, reducir costos de producción, generar innovaciones y mejoras en los alimentos y conducir prácticas más ecológicas. En resumen, promete contribuir a una agricultura sostenible, utilizando recursos más acordes con el medio ambiente, es decir, ayudar a satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las futuras. Estas posibilidades han sido reconocidas por la FAO al señalar que “la biotecnología ofrece instrumentos poderosos para el desarrollo sostenible de la agricultura, la pesca y la actividad forestal, así como de las industrias alimentarias y puede contribuir a satisfacer las necesidades de una población en aumento y cada vez más urbanizada”.

¿ Cómo se obtiene una planta transgénica ?

La punta de lanza de la biotecnología agrícola es la biología molecular y la ingeniería genética de las plantas. La ingeniería genética es una disciplina de la Biología, con los mismos objetivos del fitomejoramiento clásico pero con la ventaja de que permite combinar exclusivamente los genes deseados. A través de la ingeniería genética es posible la creación de organismos genéticamente modificados (OGM), incluyendo plantas transgénicas, es decir plantas a las que se les introduce, en forma estable, ADN foráneo de origen vegetal, microbiano o animal. La ingeniería genética ha permitido identificar y aislar genes específicos del ADN en el organismo donante mediante enzimas de restricción que actúan como “tijeras químicas”, transferir el gen aislado del ADN del organismo receptor mediante enzimas, logrando que el organismo receptor decodifique la nueva información y produzca una nueva proteína que le va a permitir adquirir una nueva propiedad o rasgo.

Existen diferentes técnicas que pueden utilizarse para insertar el gen de interés una vez que éste ha sido identificado y aislado. La más conocida es la llamada “pistola de genes” (Figura 1) que consiste en usar estallidos de helio para impulsar partículas microscópicas de oro o tungsteno recubiertas con múltiples copias del gen e insertarlos directamente en las células receptoras. Esta metodología es usada en plantas recalcitrantes al cultivo de tejidos.

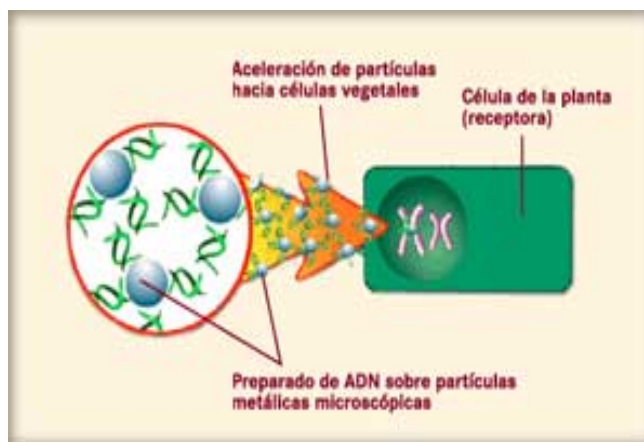


Figura 1. Esquemización del bombardeo de genes utilizando la pistola de genes.

Las otras técnicas usadas con frecuencia son la electroporación y la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* (Figura 2.). Una vez que el gen es

introducido en la célula por cualquiera de los métodos señalados (por *A. tumefaciens* en el ejemplo), éste se inserta siempre en forma aleatoria en uno o más cromosomas de la célula receptora, es necesario identificar las células que recibieron el gen. Para ello se utilizan medios especiales y posteriormente se siembran en medios que permitan el desarrollo de plantas completas. Con el tiempo, las plantas son sometidas a un proceso de selección para determinar si el gen extraño está presente y si funciona normalmente.

El gen, una vez introducido a la planta por medios biotecnológicos, puede ser trasladado a otras plantas o mediante técnicas tradicionales de mejoramiento.

Logros de la Biotecnología

Hasta el presente se han producido plantas resistentes a insectos-plaga y patógenos; mejores productos, como frutos con prolongado período de almacenamiento; productos con mejores propiedades nutritivas, como un mayor contenido de proteínas, aceites, aminoácidos, etc.; y con mejoras industriales, como un mayor contenido de sólidos de los frutos. En la actualidad se está trabajando en la incorporación de resistencia a plagas en café, lechuga, soya, maíz, papa y tomate; ya existen plantas de lechosa resistentes al virus PRSV (Figura 3); se está buscando la reducción del contenido de cafeína en café; en mejorar el nivel de ácido oleico y el valor nutritivo de la soya; en mejorar la composición de ácidos grasos en girasol; producir papas más dulces y

con reducida absorción de aceite e incorporar una vacuna contra la Hepatitis B; y la incorporación de vacunas en bananos, pues éstos tienen, a diferencia de la papa, muy buen sabor cuando se consumen frescos.

Uno de los cultivos transgénicos con mayor éxito es el maíz Bt, al que se le ha incorporado el gen de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Este gen codifica una proteína tóxica para insectos-plaga que comúnmente atacan el cultivo. Los insectos que son afectados por los híbridos de maíz transgénicos con el gen *Bt* pertenecen al orden Lepidoptera. Las especies de insectos que pueden ser controladas son *Ostrinia nubilalis*, *Helicoverpa zea*, *Papiapema nebris*, *Pseudaletia unipunctata* y *Diatrea grandiosella*, entre otras. Estos lepidópteros, a más de causar daños directos, pueden influir en el desarrollo de enfermedades, particularmente la pudrición de la mazorca del maíz causada por *Fusarium verticilloides* (syn. *F. moniliforme*), *F. proliferatum* o *F. subglutinans* y la pudrición de las semillas de maíz causada por *Aspergillus flavus*. Estos patógenos producen micotoxinas que pueden ser fatales para caballos y cerdos y son probablemente cancerígenas para los seres humanos. Algunos estudios realizados en híbridos de maíz Bt han mostrado reducciones significativas de micotoxinas en comparación con los híbridos no transformados. A pesar de ésta ventaja respalda el uso de los híbridos de maíz Bt para el control de las pudriciones de maíz causadas por *Fusarium* y *Aspergillus*, estas enfermedades requieren un manejo integrado que involucra otras tácticas, ya que durante épocas favorables para estas enfermedades, los híbridos Bt pueden tener los mismo

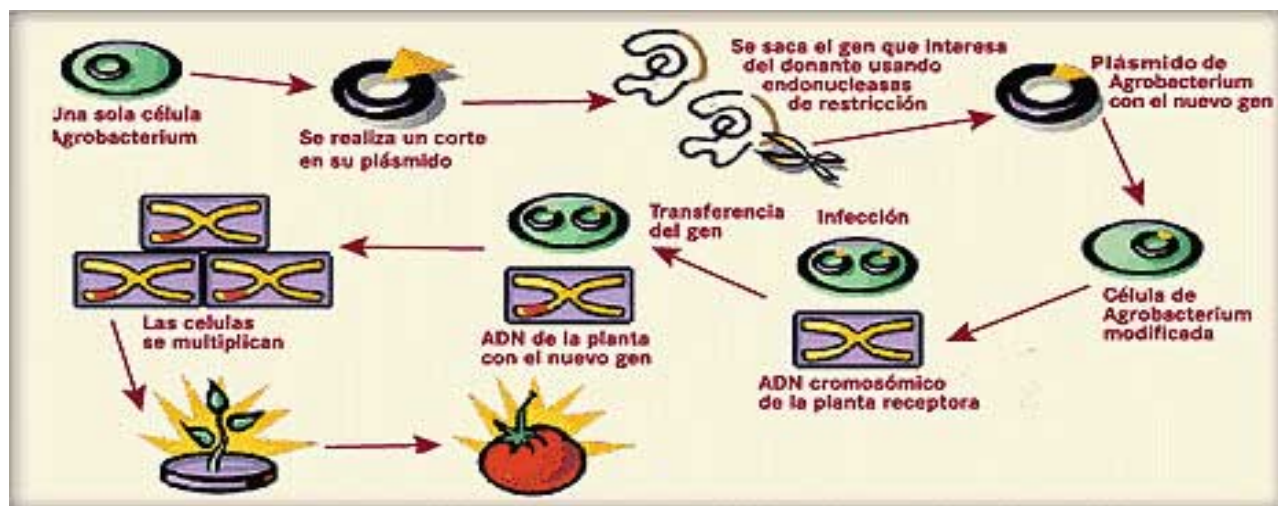


Figura 2. Procedimiento de transformación de una célula de tomate utilizando a la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* como vehículo.

niveles de micotoxinas que los híbridos no transformados. Aún así, el control transgénico de insectos y enfermedades ofrece alternativas mucho más efectivas, económicas y ecológicamente amigables que la aplicación de insecticidas. Así por ejemplo, son necesarias de 12 a 40 aplicaciones de insecticida para producir maíz dulce a fin de satisfacer las exigencias del mercado fresco. Aún con el control parcial que los híbridos Bt ofrecen actualmente, las aplicaciones de insecticidas pueden ser reducidas drásticamente. Así mismo, el maíz transgénico con el gen Bt reduce la vulnerabilidad de los granos a los hongos que producen micotoxinas, incrementando la seguridad alimentaria del maíz para uso humano y animal.



Figura 3. Daños ocasionados por el virus PRSV en siembras de lechosa susceptible. Comparación entre plantas susceptibles (arriba) y transgénicas resistentes (abajo) en un campo con alta presión de inóculo del virus PRSV.

Tal vez el único ejemplo que existe en la actualidad de un cultivo transgénico producido para los países en desarrollo es el “Arroz Dorado”, un arroz genéticamente transformado que acumula en el embrión betacaroteno y otros carotenos, que son precursores de vitamina A. Este es el primer OGM destinado a incrementar la nutrición de las poblaciones más necesitadas. Se estima que unos 500.000 niños en todo el mundo pierden la vista por falta de vitamina A, especialmente en el sudeste

asiático y ciertas áreas de África y América Latina, lugares en donde el arroz es un alimento básico. Este arroz pretende aportar vitamina A a las poblaciones que no consumen suficiente cantidad de esta vitamina y prevenir la muerte de uno o dos millones de niños menores de cuatro años y de 500.000 niños mayores de cuatro años. Otras ventajas de este “Arroz Dorado” es que se pretende dar a los agricultores libre de cargos, se puede sembrar la semilla cosechada, no afecta ni la biodiversidad agrícola ni la natural y no tiene efectos adversos en la salud humana ni en el medio ambiente. El Instituto Internacional del Arroz (IRRI) está evaluando el Arroz Dorado y cualquier país que esté interesado en estudiarlo puede obtenerlo en forma gratuita. Un Consejo Humanitario ha sido formado para facilitar la llegada del Arroz Dorado a los países en desarrollo, con las máximas garantías de calidad y seguridad.

Comercialización de plantas transgénicas

A pesar de que la investigación biotecnológica se viene realizando desde hace varios decenios, la distribución comercial de los primeros productos transgénicos se inició en 1990 en China, con una variedad de tabaco resistente a un virus. En 1994, el tomate Flavr SavrTM de maduración lenta, desarrollado por la empresa Calgene, se empezó a vender en los países desarrollados.

En general, los agricultores que han empezado a sembrar cultivos transgénicos están satisfechos. Esta satisfacción queda demostrada por el vertiginoso incremento de las ventas de los productos transgénicos y por el aumento de los países que están adoptando esta tecnología a nivel mundial (Cuadros 1 y 2).

El área sembrada con cultivos transgénicos también se ha incrementado rápidamente. La extensión sembrada en 1999 (27,8 millones de ha) sufrió un 44% de aumento en un año. De esta área sembrada, 14.5 millones de ha fueron sembradas en los Estados Unidos con soya resistente a herbicidas.

Polémica surgida alrededor de los OGMs

Una vez que los primeros alimentos modificados genéticamente empezaron a ser comercializados, se generó una polémica de grandes proporciones entre ecólogos y biólogos por un lado y biotecnólogos por el otro. Los ecólogos y biólogos

señalan que la introducción de genes de especies no relacionadas no es lo mismo que el mejoramiento tradicional, pues se saltan barreras naturales y se crean combinaciones que no existen en la naturaleza, dando lugar a individuos “artificiales”, que violan las leyes naturales que impiden el cruzamiento entre organismos biológicamente diferentes. Así mismo indican que el cultivo de plantas transformadas y los derivados de los OGMs entrañan serios riesgos para el medio ambiente y la salud humana. Por su parte los biotecnólogos señalan que la Ingeniería Genética es una técnica precisa, pues se introduce ADN bien caracterizado, mientras que en el mejoramiento tradicional se transfiere el carácter buscado junto con mucho material genético sin caracterizar, del que se desconocen sus impactos, por otro lado añaden que la mayoría de los alimentos que consumimos hoy han sido radicalmente modificados a través de los años por selección deliberada o por mutaciones accidentales y que los avances logrados en las últimas décadas colocan a la humanidad en el umbral de una revolución alimentaria sin precedentes, que permitirá resolver los problemas del hambre y el agotamiento de la superficie disponible para agricultura.

Cuadro 1. Estimaciones de venta de productos transgénicos a nivel mundial.

Año	Millones de dólares (US \$)
1995	75
1996	235
1997	670
1998	1.600
1999	2.300

Cuadro 2. Número de países sembrando cultivos transgénicos desde 1992 hasta 1999.

Año	Número de países
1992	1
1996	6
1998	9
1999	12

La disputa está gobernada por intereses económicos y políticos. La investigación biotecnológica está concentrada en unos pocos países industrializados y la mayor parte de la misma está financiada por compañías transnacionales que pretenden monopolizar el mercado de los productos

transgénicos a través de patentes y de contratos de compra anual de semilla, no permitiendo a los agricultores la siembra de la semilla producida por ellos mismos. Así mismo, estas compañías están tratando de evitar que los gobiernos impongan restricciones al empleo y consumo de los OGMs y de sus productos, restricciones derivadas de preocupaciones sanitarias y ambientales.

Un aspecto curioso de este debate es que los críticos más radicales, que vociferan en contra de los alimentos genéticamente modificados, no los perturba el hecho de que muchos productos farmacéuticos de uso muy difundido (tales como la insulina, la hormona de crecimiento y otros más) también son producto de los OGMs. Además, rara vez objetan el uso de una bacteria transgénica que degrada petróleo y que es usada para procesar algunos desechos industriales.

Beneficios de los OGMs

Los datos preliminares relacionados con el uso de los cultivos transgénicos de “primera generación” señalan que las características adquiridas les permiten incrementar la productividad a nivel de campo, bien sea reduciendo los insumos requeridos o aumentando los rendimientos. El caso más conocido y polémico es el transgen Bt. Para 1998 se habían sembrado alrededor de siete millones de ha de maíz y un millón de ha de algodón transgénicos. Se ha estimado que el rendimiento del maíz con el gen *Bt* fue mayor que el del maíz “normal” hasta en un 8% y la disminución en la aplicación de insecticidas en papa se redujo hasta en un 40%. Esta reducción en el uso de insecticidas originó, como era de esperarse, mayores utilidades para los agricultores. Otro beneficio implícito fue la reducción de las sustancias tóxicas aplicadas al medio ambiente.

Otro ejemplo muy bien conocidos es el que otorga resistencia a los herbicidas como glifosato, un producto de la compañía Monsanto. Las variedades de algodón, soya y maíz transformadas se venden bajo el nombre de Roundup Ready (RR) y han tenido muy buena aceptación entre los agricultores debido a que, por lo general, una sola aplicación el herbicida es suficiente para lograr un control eficiente de las malezas de hoja ancha, reduciendo considerablemente el número de aplicaciones que se hacen rutinariamente. Se ha señalado que este transgen aumenta las utilidades de los productores de soya en los Estados Unidos hasta en US \$14 por ha,

ahorrándose 2 kg de ingrediente activo de herbicida por ha sembrada. En la actualidad otros países, incluyendo Australia, están sembrando algodón RR esgrimiendo la imperiosa necesidad de hacerlo, a fin de desarrollar una agricultura más competitiva frente a los mercados internacionales. En Argentina, la primera semilla de soya RR llegó en 1996 y a Brasil en 1998, mientras que Francia dio marcha atrás, presionada por los ecologistas a la siembra del maíz Bt en ese mismo año.

A pesar de que los defensores de los cultivos resistentes a herbicidas aseguran que éstos abaratan los costos al posibilitar el uso de herbicidas de amplio espectro (bromoxynil, sulfonilurea, imidazolinones, glifosato, entre otros), que por su potencia requieren de menos aspersiones para ejercer un control adecuado de las malezas y que, además, se descomponen relativamente rápido en el suelo, existe evidencia de que el empleo de estos herbicidas genera tolerancia de las malezas. Esto crea un círculo vicioso en el que se necesitarían crear nuevas variedades resistentes a productos cada vez más potentes, para obtener un control de malezas adecuado. Así mismo, el bromoxynil causa defectos de nacimiento en animales de laboratorio, es tóxico para peces y puede causar cáncer en seres humanos.

Los cultivos transgénicos de “segunda generación” se concentran en proveer mejores cualidades nutricionales y/o industriales. Las variedades con mayor valor nutricional son especialmente valiosas para los países en vías de desarrollo, debido a la carencia alimentaria que sufren millones de personas, pero también son atractivas para los países desarrollados, pues reducen el consumo de grasas, proteínas y almidones poco saludables. Los animales también serán beneficiados por el aumento del valor nutricional de forrajes y granos, contribuyendo también a aumentar la tasa de conversión de alimentos y, por ende, a una disminución de la cantidad de alimento que el animal necesita y los desechos que produciría. También se estudia la posibilidad de suministrar vacunas a los animales a través de variedades transgénicas.

Otros posibles beneficios del empleo de la ingeniería genética son la obtención de alimentos con más vitaminas, minerales y proteínas y con menores contenidos de grasas; producción de ácidos grasos específicos para uso alimenticio o industrial; cultivos más resistentes al ataque de patógenos o insectos disminuyendo la necesidad de emplear productos

químicos, lo que supone un ahorro económico y menor daño al medio ambiente; mayor tiempo de conservación de frutos y verduras, aspecto crítico para países en desarrollo; aumento de la producción; disminución de los costos de producción; preservación de la biodiversidad natural y desarrollo de cultivos tolerantes a la sequía y el estrés.

Riesgos asociados con los OGMs

En la actualidad hay un consenso virtual de que los alimentos derivados de la Biotecnología no plantean nuevos riesgos por el simple hecho de haber sido obtenidos por estas técnicas, pero la palabra transgénico provoca ciertas reacciones negativas en la sociedad ante el riesgo de lo desconocido.

Los opositores resaltan la amenaza del aumento de enfermedades ocasionadas por un incremento en la resistencia a los antibióticos de amplio espectro (Figura 4) que se han utilizado como “genes marcadores”, es decir, genes que permiten conocer cuáles células han sido transformadas en las primeras fases de los experimentos, a pesar de que estos genes no se expresan. Así por ejemplo, el maíz modificado tiene el gen de la beta-lactamasa que confiere resistencia al antibiótico ampicilina. Se temía que si estos genes estaban en altas concentraciones, se acumularían en el organismo causando resistencia a los antibióticos.



Figura 4. Posible transferencia de genes marcadores con resistencia a antibióticos al ADN de microorganismos intestinales.

Para que una bacteria patógena se vuelva resistente a estos antibióticos sería necesario que el gen de la resistencia se mantuviese intacto, pero el procesamiento del maíz destruye el ADN. La única posibilidad sería consumir el maíz crudo. También sería necesario que el gen fuera transferido del genoma vegetal al genoma de la bacteria, situación

altamente improbable a pesar de que el gen de la resistencia a antibióticos se aisló originalmente de bacterias. Es mucho más probable que adquiriera ese gen de otra bacteria del sistema digestivo que tenga el gen en un plásmido, material genético circular que poseen la mayoría de las bacterias y que pueden pasar de algunas especies a otras. Otro factor importantes es que debe existir una presión selectiva a favor de la bacteria con el nuevo carácter de resistencia al antibióticos, es decir, que el animal o la persona debe estar siendo tratado en ese momento con el mismo antibiótico. Como precaución no se usan genes de resistencia a antibióticos de uso humano. En la actualidad, la preocupación del desarrollo de resistencia a los antibióticos ha sido mitigada pues no se están utilizando genes marcadores con resistencia a antibióticos. Por otro lado, nunca se ha demostrado que un gen consumido por la boca haya sido transmitido a una bacteria del tracto intestinal.

Se ha señalado también el riesgo de que las personas sufran reacciones alérgicas al ingerir alimentos genéticamente modificados que contengan proteínas alérgicas de fuentes externas. Así por ejemplo, personas alérgicas a la nuez del Brasil pueden sufrir una reacción alérgica después de consumir soya transgénica a la que se le ha insertado un gen de la nuez del Brasil (Figura 5) o personas alérgicas al pescado pueden desarrollar alergias al consumir fresas resistentes a las heladas por llevar incorporado un gen de un pez que viven en aguas árticas a bajas temperaturas.

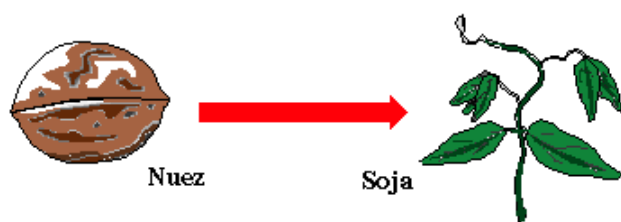


Figura 5. Transferencia de genes de la nuez del Brasil a la soya.

Para que una proteína sea un alérgeno, la persona debe estar expuesta a ella en múltiples ocasiones y por períodos relativamente largos; la proteína debe estar presente en altos porcentajes en relación con la proteína total y debe ser digerida muy lentamente. También se ha señalado que alimentos conocidos y que son transformados pueden convertirse en tóxicos debido a la adición de un

nuevo gen y porque el gen extraño puede insertarse en medio de un gen que evita la producción de toxinas en, p.e, los frutos. Las posibilidades de que un alimento transgénico sea alérgeno son insignificantes debido a las rigurosas pruebas de inocuidad a las que son sometidos los alimentos nuevos (incluyendo los OGMs) y porque los genes que producen compuestos nocivos son muy pocos.

También se ha señalado la posibilidad de desarrollo de resistencia a antibióticos en animales que consumen grandes cantidades de soya y maíz transformados, ocasionando que los antibióticos se tornen ineficaces, incrementando el costo de mantener la salud de los animales. Así mismo, se menciona la posibilidad de que esta posible resistencia adquirida en los animales hacia los antibióticos pueda pasar a los consumidores de productos de origen animal. Como los OGMs no han estado en el mercado el tiempo suficiente para evaluar estas posibilidades, es prematuro concluir que la cuestión ha sido resuelta. Así mismo, como no se han presentado problemas al respecto aún y ya no se utilizan genes marcadores que confieren resistencia a antibióticos, no es probable que se presente en el futuro.

Otro aspecto de los OGM que ha suscitado mucha polémica son las repercusiones ambientales. Un riesgo, que se presenta también con las plantas mejoradas por los métodos tradicionales, es el desarrollo de resistencia por parte de las plagas a las toxinas introducidas en el cultivo. Esto es especialmente cierto en el caso del gen Bt, ya que los insectos están en contacto continuo con la toxina. Ya han sido reportados casos de aparición de resistencia, pero no a cultivos transformados con el gen, sino debido a las aspersiones con *B. thuringiensis*. También se ha planteado que la posible aparición de resistencia en los insectos ocasionaría la pérdida de eficacia del insecticida cuando este es usado tópicamente, en especial en cultivos orgánicos con la consecuente pérdida económica por parte de productores que practican la agricultura orgánica. Para evitar la posible aparición de resistencia al Bt, ya sea aplicado como insecticida tópico o en las plantas transgénicas, es necesario que éste forme parte de un manejo integrado de plagas (MIP). Las estrategias que pueden implementarse son las siguientes:

- a. Aumentar la cantidad de toxina presente en la planta o escalonar diferentes tipos de genes Bt para producir un cóctel de toxinas naturales.

- b. Crear refugios para los insectos, dejando zonas exentas de plantas transgénicas Bt para que los insectos susceptibles puedan continuar viviendo. Éstos, al aparearse con los expuestos al Bt asegurarán la susceptibilidad de la población general. En los Estados Unidos se recomienda dejar un 20% del área sembrada libre de plantas transgénicas con el gen *Bt*.

No se sabe si estas estrategias son efectivas, pero es posible que los agricultores no acaten estas recomendaciones si los cultivos transgénicos son muy rentables.

También se ha señalado que los cultivos transformados con el gen *Bt* pueden matar insectos benéficos. El estudio de la Universidad de Cornell, publicado en la revista *Nature* en mayo de 1999, sobre mariposa monarca (Figura 6) mostró un aumento de la mortalidad de larvas de esta mariposa alimentadas con hojas de algodoncillo (*Asclepias syriaca*) cubiertas con polen de maíz transgénico Bt. Los datos de peso y supervivencia en investigaciones iniciales de campo, emprendidas posteriormente para determinar las posibilidades de que el polen de los maizales transgénicos pudiese afectar negativamente las poblaciones de la monarca, indicaron que las larvas que se alimentan en la hojas de algodoncillo con cantidades altas (~150 granos/cm²) de polen de maíz transgénico MON810 y CBH351 no son afectadas, pero el polen de otros tipos de maíz transgénicos eran más tóxicos. Otro aspecto importante que debe tenerse en cuenta es que el algodoncillo es un maleza y que además es una planta venenosa para el ganado, por lo general los agricultores intentan eliminarla de las áreas de



Figura 6. Mariposa monarca (*Danaus plexippus*).

siembra mediante rotaciones, arado, rastreo y uso de herbicidas, por lo que el número de plantas cerca de los maizales es, generalmente, bajo. Por estas razones, a pesar de que se demostró claramente la toxicidad del polen *Bt* a las larvas de las mariposas monarca, hay acuerdo general entre los investigadores que la probabilidad de exposición es pequeña y el impacto sobre las monarcas en general será relativamente bajo. A pesar de de ello, deben continuarse las investigaciones para ayudar a disipar las preocupaciones de que las monarcas estén amenazadas por el maíz *Bt* y para determinar las mejores alternativas para minimizar los efectos negativos.

Otro riesgo que se señala es que la resistencia a los herbicidas pueda pasar de los cultivos transgénicos a especies silvestres o cultivadas y producir “supermalezas”, obligando a los agricultores a utilizar herbicidas más fuertes y quizás más nocivos para el ambiente. Esta preocupación está justificada en las zonas de origen de los cultivos, dado que las plantas transgénicas pueden cruzarse con especies silvestres y transmitir los caracteres de resistencia a herbicidas o de tolerancia a condiciones ambientales adversas. Así por ejemplo, la amenaza en México y en América Central es mucho mayor con el maíz transgénico, porque en esa zona todavía existen plantas silvestres de donde surgió el maíz cultivado. Es importante señalar que ya se ha reportado el primer caso de transferencia de un gen de resistencia a un insecticida de plantas de colza transgénicas a plantas de rábano sembradas en su proximidad, poniendo de manifiesto que se ha hecho realidad lo que anteriormente era tan solo una posibilidad teórica. Sin embargo, sin menoscabo de la prudencia aconsejable en la utilización de cultivos transgénicos, es necesario poner de manifiesto que situaciones similares pueden producirse con plantas mejoradas con las técnicas tradicionales.

La pérdida de biodiversidad es otro riesgo que se ha señalado ante el uso de las variedades transgénicas, pero este riesgo no es mayor que el de las variedades mejoradas tradicionalmente. Así mismo, se teme el efecto que los genes de origen viral puedan tener en las plantas transformadas mediante la incorporación del gen de la proteína del cápside del virus. Hasta el momento no se han presentado problemas, pero algunos investigadores arguyen que el riesgo no es mayor que el riesgo que enfrenta actualmente la protección cruzada (inoculación de las plantas en el vivero con cepas atenuadas del virus) en cultivos

como los cítricos, ante la posible mutación de la cepa en el campo.

Ante todos estos peligros, se han mencionado algunos “mecanismos de seguridad” que pueden implementarse, tales como:

- a. Emascular las plantas transgénicas, a fin de evitar la transferencia horizontal de genes.
- b. Incluir sistemas suicidas en las plantas transgénicas, de forma tal que la semilla no sea viable y, por ende, la especie no pueda convertirse en maleza o no invada un nicho ecológico.
- c. Incorporar un gen marcador para poder rastrear los OGMs en el ambiente.
- d. Sembrar parcelas mezcladas de plantas “normales” y transgénicas, como se señalara para la protección del gen Bt en maíz.
- e. Usar, en el sistema de manejo integrado de plagas, insectos y ácaros genéticamente modificados. Esta última alternativa no se ha podido implementar debido al desconocimiento de muchos aspectos del ciclo biológico de estos organismos.
- f. Incorporar los genes de resistencia en el genoma de los cloroplastos en vez del núcleo, a fin de que se hereden en forma materna y estén ausentes del polen.

En general, ha habido una aceptación tácita de los OGM en los Estados Unidos, mientras que en Europa han originado manifestaciones de protesta. Esta diferencia de opiniones se debe a que los estadounidenses confían en el gobierno para protegerlos de productos alimentarios nocivos, mientras que los sistemas de supervisión europeos son vistos con desconfianza, especialmente porque han tenido grandes fallas en detectar la importancia de algunos problemas graves para posteriormente restarle importancia, como sucedió con el brote de la enfermedad de las “vacas locas” en Inglaterra y los pollos contaminados con dioxina en Bélgica. Otro factor que ha influido en esta percepción diferente de los consumidores es la disponibilidad de información acerca de la presencia de los OGMs en los alimentos. En Europa se obliga a colocar en la etiqueta de los alimentos la presencia de OGMs, lo que ha servido para alertarlos sobre la proliferación de organismos

genéticamente modificados, mientras que los comerciantes estadounidenses no están obligados a mencionar en la etiqueta que se trata de alimentos transgénicos, por lo que la mayoría de los consumidores ignoran que muchos de los alimentos que consumen provienen de OGMs.

Posibles beneficios de los OGMs para los países en desarrollo

Millones de personas de los países en desarrollo, que carecen de alimentos para subsistir o de dinero suficiente para adquirirlos, se podrán beneficiar grandemente de toda tecnología que pueda incrementar la producción agrícola, reducir los costos mediante una reducción del uso de plaguicidas (que ha demostrado tener un severo impacto en el medio ambiente), mejorar la calidad de los alimentos mediante una mayor concentración de aceites o almidones, y permitir la utilización de grandes superficies desaprovechadas, como los suelos ácidos o salinizados por el exceso de riego o fertilizantes y otras características que hagan que las condiciones ambientales sean hostiles para el desarrollo de los cultivos. Así mismo se beneficiarían al obtener alimentos con mayor valor nutricional para aliviar la desnutrición. Los posibles beneficios de los organismos transgénicos son inmensos para los países en desarrollo, pero así también son sus costos. La mayoría de estos países carecen de personal capacitado para evaluar la inocuidad de los OGMs, de capacidad para implementar normas que rijan su distribución y de sistemas jurídicos adecuados para regularlos. Además, como el centro de origen de muchos cultivos se encuentra en los países en desarrollo, cualquier efecto negativo en la flora y la fauna silvestres podría repercutir en la biodiversidad mundial. Para lograr que los gobiernos de los países puedan tomar las decisiones correctas sobre la producción y el empleo de los OGMs, los centros de investigación internacional adscritos al Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) están adiestrando investigadores de los países en desarrollo en el empleo de técnicas de transformación, facilitando el acceso a tecnologías protegidas por patentes y promoviendo sistemas de evaluación eficientes y objetivas de los OGMs.

El futuro de los OGMs

El uso de las técnicas de ingeniería genética en el fitomejoramiento va a continuar, pues con los

métodos tradicionales se tiene que cruzar muchos progenitores a fin de crear combinaciones aleatorias de genes, para luego trabajar arduamente seleccionando la progenie deseada. Otro aspecto importante es la creación de organismos con características favorables al incorporar genes de especies no relacionadas.

Es difícil predecir las repercusiones de los OGMs en las personas, los animales y el medio ambiente, por ser productos nuevos y deben entonces evaluarse los riesgos antes de aprobar la liberación de estos organismos mediante ensayos de campo controlados, con el objeto de generar información sobre su comportamiento en manos de los agricultores. Diversos países han empezado a establecer regulaciones para la liberación en el campo de semillas transgénicas y para la comercialización de productos derivados de los OGMs. Así por ejemplo, el Parlamento Europeo exige un seguro para todas las compañías que liberen plantas transgénicas en el campo y prohíbe el uso de organismos transformados con genes de resistencia a antibióticos. En Australia y Nueva Zelanda es obligatorio indicar en la etiqueta de los alimentos, si los ingredientes contienen derivados de los OGMs. En Brasil, un decreto emitido recientemente en el estado de Río Grande do Sul obliga a los investigadores y productores de transgénicos, a presentar estudios de impacto ambiental y a obtener "certificados de bioseguridad" para continuar con sus labores.

La industria de la biotecnología agrícola se equivocó al afirmar que los alimentos transformados genéticamente no eran diferentes de los otros alimentos, no siendo necesario que tuviesen un tratamiento especial para distinguirlos de los demás. Esta actitud ha servido para crear sospechas entre algunos consumidores sobre los posibles riesgos de los OGMs, deliberadamente ocultados por una industria que solo busca aumentar sus utilidades. Es necesario realizar una campaña de difusión de los aspectos científicos de la biotecnología dirigida al público, a fin de lograr el consenso necesario para continuar y tomar en cuenta las preocupaciones válidas de todos y resolver las interrogantes que aún no tienen respuesta. Por último, es indispensable que las decisiones sobre el futuro de los OGMs se basen en realidades. La industria de la biotecnología agrícola ha resaltado excesivamente los beneficios y ha minimizado por posibles riesgos, mientras que los opositores de la industria han ignorado los beneficios y maximizado los riesgos. Es indispensable deponer

actitudes extremas e iniciar un diálogo abierto, basado en información científica confiable. Así mismo, es necesario fortalecer la investigación biotecnológica para contar con la capacidad necesaria para evaluar objetiva y adecuadamente las potencialidades y riesgos de los OGMs y para poder resolver las necesidades de una creciente población y compaginarla con la búsqueda de nuevas alternativas que refuercen una agricultura sostenible.

La biotecnología y los países en desarrollo

Existen grandes expectativas de la Biotecnología como herramienta clave en la producción de alimentos para sostener una población en continuo crecimiento. La Cumbre de la Alimentación de 1996 de las Naciones Unidas reportó que más de 800 millones de personas (cerca del 20% de la población mundial) sufren de desnutrición crónica, es decir, no logran satisfacer el requerimiento de 2.300 calorías/día/persona. El hambre es la consecuencia de la pobreza. La población mundial continúa aumentando a razón de 100 millones por año, con la consiguiente necesidad de alimento. El Banco Mundial estima que los países desarrollados deben duplicar su producción agrícola en los próximos 25 años para satisfacer su demanda alimentaria interna y que en los países en desarrollo la deficiencia alimentaria se duplicará. La productividad agrícola (y la tecnología) es tan solo un factor (entre muchos más) en la compleja situación del hambre en el mundo. Otros factores como el comercio, los subsidios agrarios, las prácticas agrícolas que atentan contra la biodiversidad y ocasionan erosión de suelos son factores que no suelen tomarse en cuenta para corregir el problema. Es necesario entonces establecer prioridades y acuerdos entre los países desarrollados y los del tercer mundo para participar equitativamente en los programas biotecnológicos. Los Centros Internacionales pueden servir de plataforma para la generación y transferencia de tecnologías de vanguardia, pero las tecnologías producidas por las grandes empresas están protegidas por secretos industriales, patentes o genes suicidas. Al final, queda de parte de la comunidad científica concienciar a la población que el enemigo a vencer no es la biotecnología responsable, sino al hambre.

LITERATURA CITADA

- Boletín Alternativas. 1999. Transgénicos a la Carta. Amenaza para la biodiversidad. Red Mexicana de Acción frente al Libre Comercio. No. 26, julio-agosto 1999. RMALC.
- Feldman, M., M. Morris y D. Hoisington. 2000. ¿Por qué suscitan tanta polémica los organismos genéticamente modificados? Respuesta a 10 preguntas frecuentes acerca de los OGM. CIMMYT, México.
- Fernández Guidal, E. 2001. La historia del Arroz Dorado: Vitamina A para los países en desarrollo. Antama.
http://www.monsanto.es/noticias/junio2001/01junio04_antama.htm. (Última visita 03 de julio de 2001).
- Izquierdo, J. Y G. A. de la Riva. 1998. Plant Biotechnology and Food Security in Latin American and the Caribbean. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
<http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/bip.htm>. (Última visita 03 de julio de 2001).
- Lynch, R.E., Wiseman, B.R., Plaisted D., and D. Warnic. 1999. Evaluation of transgenic sweet corn hybrids expressing CryIA(b) toxin for resistance to corn earworm and fall armyworm (Lepidoptera:Noctuidae). J. Econ. Entomol. 92:246-252.
- Miller, J.D. 1999. Reducing the impact of mycotoxins on the agricultural economy: A perspective on regulation. APSNet publication P-1999-0118-SSA.
<http://www.scisoc.org/meeting/abstract/1999/sp99ab19.htm>. (Última visita 03 de julio de 2001).
- Moffat, A.S. 1999. Crop Engineering Goes South. Science. 285:370-371.
- Munkvold., G.P. y R.L. Hellmich. 1999. Genetically modified, insect resistance corn: Implications for disease management. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN, USA.
- Pleasants, J. M., R. L. Hellmich and L.C. Lewis. 1999. Pollen deposition on milkweed leaves under natural conditions. Monarch Butterfly Research Symposium. Chicago, Illinois. USA.