

Propuestas e implicaciones de la agrobiotecnología en la alimentación humana y el ambiente

PATRICIA VIT

Apiterapia y Vigilancia Ambiental (APIVA), Departamento Ciencia de los Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. e-mail vit@ula.ve

RESUMEN

La agrobiotecnología es una propuesta para mejorar el rendimiento de las cosechas en el campo y optimizar la calidad de los alimentos. Se han logrado plantas genéticamente modificadas (GM): 1. Tolerantes a insecticidas polivalentes, para controlar malezas. 2. Resistentes a plagas. 3. Nutricionalmente mejoradas. 4. De mayor vida útil en el mercado. En este trabajo se revisan las bases de la herencia para entender las implicaciones de los organismos genéticamente modificados (GMO) en el ambiente y la alimentación humana. También se analizan los riesgos que representa el flujo de genes modificados, el consumo de alimentos GM y las etiquetas GM, en el marco de los sistemas de bioseguridad para liberar y comercializar GMO y sus derivados, junto con el compromiso profesional para transmitir una percepción pública saludable.

ABSTRACT

Agrobiotechnology is a proposal to improve the yields of harvest in the field and to optimize food quality. With GM plants we have achieved: 1. Insecticide tolerance. 2. Pest resistance. 3. Nutritional improvements. 4. Longer shelf life. This work starts with a review of the hereditary basis to understand the implications of the genetically modified organisms (GMO) in the environment and in human nutrition. Further analysis on risk assessment are focused on modified gene flow, GM food intake and GM labelling, framed in regulatory biosecurity systems to release and market GMO and derivatives, besides the professional commitment to convey a healthy public perception.

PALABRAS CLAVE

Agrobiotecnología, alimentación, ambiente, bioseguridad, genoma, GMO.

AGRADECIMIENTO

A las autoridades de la Facultad de Farmacia y del Departamento Ciencia de los Alimentos por haber permitido la actualización en biotecnología durante los recesos intersemestrales. Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes (CDCHT-ULA) por haber financiado la participación en el curso Bioseguridad en Agrobiotecnología: Manejo del Riesgo y Percepción Pública en el IDEAS.

INTRODUCCIÓN

Los avances de la biotecnología han sido notables en los últimos veinte años. Los derivados farmacéticos de cultivos microbiológicos GM (del inglés *genetically modified*) se han integrado en el mercado hace unos treinta años, pero los cultivos agrícolas GM y los alimentos GM son de inserción más reciente en la última década (Thomas, 2003). Para conocer los rápidos cambios que las aplicaciones de la ciencia pueden generar en los alimentos que consume el hombre y en su entorno, se requiere de la actualización en las universidades y del público en general. Además, el cuerpo del conocimiento es extenso y debe ser transmitido en distintos niveles educativos.

Es nuestra obligación estar informados para conocer, opinar, prevenir y plantear soluciones a los problemas del planeta que habitamos. Quizás el tema de la biotecnología ha despertado nuestro interés por la genética y nos ha permitido familiarizarnos con terminología muy técnica, utilizada para explicar estructuras y funciones que han existido desde el origen de la vida, pero que hoy día están expuestas a la intervención del hombre por el estado del conocimiento y de los avances tecnológicos.

Esta revisión se inicia con un recorrido desde el inicio de los estudios de la herencia, que proporcionaron las herramientas utilizadas por la agrobiotecnología hasta la percepción pública de este

proceso. Se presentan los caracteres insertados en los cultivos genéticamente modificados (GM) para evaluar riesgos en el flujo de genes de plantas GM a otros genomas, las implicaciones de los cambios del ADN y las proteínas y la consideración del etiquetado de alimentos provenientes de organismos genéticamente modificados GMO (del inglés *genetically modified organisms*). Un breve análisis de los sistemas de bioseguridad permite llegar a unas consideraciones finales.

ESTUDIOS DE LA TRANSMISIÓN DE LOS CARACTERES HEREDITARIOS

En la época en que el británico naturalista Charles Darwin estaba escribiendo *El origen de las especies*, el austríaco Gregor Mendel iniciaba su serie de experimentos fundamentales que generaron una plataforma matemática para los mecanismos de la herencia. La reflexión de Curtis y Barnes (1994) sobre el éxito de este fraile agustino, permite recordar sus aciertos en el enfoque del problema: 1. Utilizar un material vivo adecuado, como la planta de guisantes. 2. Formular una hipótesis precisa. 3. Verificar su hipótesis en una serie lógica de experimentos. 4. Seleccionar variables sencillas y medibles. 5. Extender las observaciones en el tiempo, en su caso no se limitó a la progenie de la primera generación. 6. Analizar los resultados matemáticamente. 7. Describir claramente los experimentos y sus resultados. Esta línea de enfoque requiere disciplina e imaginación, su vigencia sólo se complementa con el desarrollo de tecnologías para la cuantificación de variables. Mendel pudo leer información oculta de la naturaleza con su método, quizás no tan desvinculado de su profesión espiritual. El resultado fueron dos principios sobre la distribución de las variaciones para la transmisión hereditaria de caracteres: 1. Segregación, conocido como la primera Ley de Mendel. 2. Distribución independiente, conocido como la segunda ley de Mendel. La porción no explicada se debía a mutaciones o cambios que ocurrían en el material hereditario. Las mutaciones no direccionan los cambios pero proveen una fuente primaria de variabilidad en las poblaciones, que hace posible la evolución como proceso de adaptación y resultado de las fuerzas de selección.

Las bases citológicas de la herencia fueron generadas en Estados Unidos. El biólogo Thomas Morgan trabajó con *Drosophila melanogaster* en la Universidad de Columbia, y quizás su mayor contribución fue la ubicación física de los principios hereditarios demostrados matemáticamente por Mendel (Curtis y Barnes, 1994). Los genes localizados en los cromosomas. En su laboratorio se observaron

caracteres ligados al sexo, variaciones de penetrancia genotípica, herencia poligénica, pleiotropía y las interacciones de los genes con el ambiente para la expresión fenotípica. También surgió la propuesta de recombinaciones dependientes de la distancia física entre los loci ocupados por los genes, cimientando del concepto de mapas cromosómicos.

El principio químico de la herencia es doble y helicoidal, en forma de á-hélice como doble espiral con peldaños como en una escalera de caracol, formados por dos parejas de purinas y pirimidinas complementarias timina con adenina, y citosina con guanina. Los pasamanos son de azúcar desoxirribosa y de fosfato alternados. Cada unidad de base nitrogenada, desoxirribosa y fosfato conforma un nucleótido, así que el ADN es un polímero de nucleótidos asociado en dos cadenas. El norteamericano James Watson, el físico británico Francis Crick y la química Rosalind Franklin son los descubridores de esta conformación. El ADN (ácido desoxiribonucleico) fue aislado por el médico alemán Friedrich Miescher en 1869, pero su estructura se dilucidó hace 50 años en 1953 con la construcción de un modelo que consideraba el patrón de difracción de rayos X, la naturaleza nucleotídica y una analogía con los puentes de hidrógeno de las proteínas. Luego siguieron la replicación semiconservativa del ADN, el ARN complementario, la síntesis de las proteínas, el código genético y sus modelos de regulación. Se han acuñado nuevos términos como genoma, proteoma y metaboloma para referirse al conjunto celular de cromosomas, de las proteínas que codifica y de las rutas metabólicas que se expresan; asimismo han surgido disciplinas asociadas, como la farmacogenómica, para referirse a la farmacia que utiliza biotecnología.

Quizás volvamos a otra fase de matemática para complementar el modelo hereditario construido hasta ahora. Sin embargo, mientras entendemos el proceso evolutivo podemos aplicar las herramientas surgidas para su estudio, en la disciplina que hoy se conoce como biotecnología. Esta disciplina utiliza la tecnología de la vida canalizada hacia cuatro técnicas para manipular el ADN recombinante: 1. Segmentación de ADN. 2. Amplificación del ADN. 3. Hibridación de ácidos nucleicos. 4. Secuenciación del ADN. El aporte del biólogo molecular norteamericano Kary Mullis, inventor de la reacción en cadena de la polimerasa PCR (del inglés *polymerase chain reaction*) con la cual también obtuvo el premio Nobel en química en 1993, además de biología, medicina y paleontología molecular, permite realizar pruebas de paternidad y medicina forense. Estudiando esas líneas paralelas que succionan el interés de los investigadores, se

encuentra que además de contener los principios hereditarios, la misma composición química contiene secuencias codificadoras interrumpidas por secuencias no codificadoras, conocidas como intrones mientras no se conozca su función. Aproximadamente sólo 3% del ADN de los vertebrados codifica precursores de ARNm, que pueden expresarse como proteínas (Zweiger, 2002). Esta cifra es un índice del estado del conocimiento de nuestra geometría nucleica y del lento progreso interpretativo de la genética molecular, que a veces parece muy rápido. Por lo menos esta curiosidad compartida incentiva el trabajo en equipo y de alguna manera permitirá conocer asociaciones de individuos, sus percepciones sensoriales y ojalá que también las extrasensoriales.

CULTIVOS GM

La aplicación de tecnología del ADN recombinante para introducir genes aislados de cualquier organismo en plantas, se conoce como cultivo de organismos genéticamente modificados (GMO), y es un avance significativo para mejorar la oferta de alimentos en términos de calidad, cantidad y aceptabilidad. Las técnicas de ADN recombinante en plantas son una propuesta para obtener cambios más predecibles que en los híbridos convencionales. Para tal fin se han utilizado la inserción de genes procedentes de los genomas de *Streptomyces viridochromogenes*, *S. hygroscopicus*, *Bacillus amyloliquefaciens* y controles derivados del tabaco, como el promotor PTA20 de *Nicotiana tabacum* (Williams, 2002). Las plantas GM representan una propuesta para disminuir los costos de producción en la industria agrícola y su estudio generó una disciplina conocida como agrobiotecnología. Los atributos más divulgados a favor de los cultivos GM les atribuyen el logro en la reducción del uso de plaguicidas con plantas más resistentes al deterioro en el campo y sostienen la oferta de alimentos más nutritivos que puedan promover la salud humana. Lo cierto es que antes de lograr estas metas, es necesario realizar trabajos cuyo extralimitado financiamiento desvía la aplicación de la tecnología actual para resolver problemas a un costo más bajo. Los logros parciales son atractivos y alimentan la curiosidad del hombre para intervenir y practicar modificaciones dirigidas, conocidas como eventos, a fin de insertar genes adicionales que generen los rasgos deseados en el diseño modificado de la planta.

Aunque parezca una opinión severa, los beneficiarios de los cultivos GM son las industrias de biotecnología. Es una concepción que podría cambiar, pero en la actualidad los cultivos están diseñados para generar ingresos continuos y cada vez mayores para

las industrias productoras de químicos agrícolas y de semillas, generando un ciclo de pobreza y de endeudamiento de los países que creyeron en un proyecto diseñado para disminuir la pobreza. Por ejemplo, si una planta tiene el gen "terminator", no producirá semillas y genera dependencia con la industria productora de semillas en cada siembra.

AGROBIOTECNOLOGÍA

La diversidad de la vida explicada en términos evolutivos es un tema muy atractivo para la intervención del hombre. Las aplicaciones de biotecnología dirigidas al sector alimentario, iniciadas antes de Mendel, permiten consolidar la comprensión de los principios de la herencia indispensables para su explicación y para intentar aplicaciones más elaboradas.

De alguna manera, los alimentos producidos gracias a la fotosíntesis de las plantas permiten transformar algunos tipos de energía solar en energía química, junto con las estructuras de elementos incorporados del suelo, del aire y del agua. Este proceso puede optimizarse para obtener rendimientos mayores sin pérdidas por ataques microbiológicos, de malezas, de insectos y otros consumidores de cultivos y cosechas, como pájaros y roedores. Básicamente se trata de proteger el proceso productivo e inclusive de modificar la composición final del alimento destinado al consumo humano.

La modificación del material genético tiene en el planeta más tiempo del que normalmente imaginamos. La práctica de la agricultura se inició cuando el hombre dejó de ser nómada, y este cambio de estilo de vida ocurrió hace más de 10.000 años. Las especies botánicas comestibles fueron sometidas a selección y cruzamiento controlados, hasta alcanzar el estado actual. La evolución del maíz (*Zea mays*) se ilustra en la Figura 1, donde puede apreciarse que la mazorca original era una espiga poco conspicua y con poco alimento (Artunduaga, 2002).

En la Tabla 1 se presenta una lista de alimentos genéticamente modificados GM (del inglés *genetically*

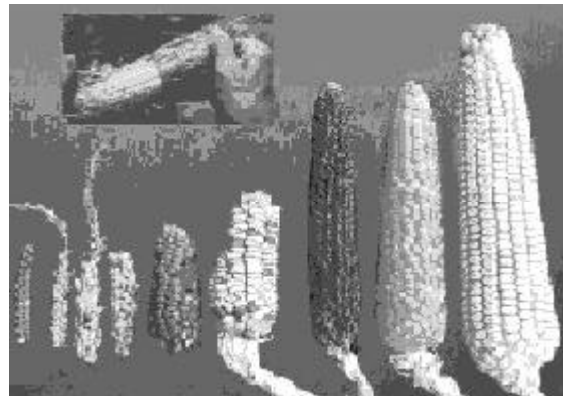


Figura 1. Evolución de la mazorca de maíz. (Cortesía de: Artunduaga, 2002)

modified) con los rasgos derivados de las modificaciones genéticas logradas por la biotecnología. Puede observarse que algunos rasgos están dirigidos a tres dianas: 1. La planta durante su cultivo, para inducir resistencia a insectos, plagas, virus y enfermedades, y tolerancia a herbicidas. 2. El producto cosechado, como la extensión de vida útil por retraso de maduración. 3. Inclusive en el producto procesado como la composición de sus aceites, la descafeinización, el aumento del contenido de almidón, antioxidantes, hierro y vitamina A. Estos logros son significativos aportes cuya aplicación puede dimensionarse para efectivamente favorecer a los agricultores y a la nutrición humana, sin pretender beneficios inexistentes ni ocultar planes de monopolio, y con el control de riesgos multifactoriales.

Tabla 1. Modificaciones genéticas de cultivos GM utilizados en la alimentación.

Alimento	Nombre científico	Modificación
Arroz	Oryza sativa	Incremento de hierro y de vitamina A
Café	Coffea arabica	Descafeinización
Frambuesa	Rubus idaeus	Resistencia a virus y maduración lenta
Girasol	Helianthus annus	Composición de aceite, ácidos grasos
Lechosa	Carica papaya	Resistencia a virus
Maíz	Zea mays	Resistencia a insectos y tolerancia de herbicidas
Manzana	Pyrus malus	Resistencia a insectos y enfermedades
Melón	Cucumis melo	Maduración lenta
Nabo	Brassica napus	Resistencia a plagas
Papa	Solanum tuberosum	Resistencia a virus e insectos y aumento del contenido de almidón
Soya	Glycine hispida	Resistencia a virus, tolerancia a herbicidas y composición de aceite, ácidos grasos
Tomate	Lycopersicon esculentum	Aumento del contenido de antioxidantes
Trigo	Fagopyrum esculentum	Tolerancia a herbicidas, tipos de almidón modificado

(Modificado de: Food for Our Future, 2003)

EVALUACIÓN DE RIESGOS

Los riesgos de las nuevas tecnologías son multifactoriales; su evaluación metódica es necesaria para contrastar ventajas y desventajas, a fin de planificar un impacto positivo en la población, la industria y el ambiente. Por ejemplo, si el hambre en el planeta es el producto de una distribución ineficiente de recursos, quizás el problema es la distribución y no

la escasez de recursos. Es difícil pronosticar que los cultivos GM permitan distribuir mejor los alimentos. Creo que la tecnocracia GM es una costosa experiencia de los países ricos, muy interesante pero muy distante del objetivo disminuir hambre. Este doble discurso es innecesario para el avance científico y para resolver problemas sociales. Las opciones posibles de producir tomates con más antioxidantes o frutas con vida post-cosecha extendida, incluyen la modificación genética y este logro es un aporte a la ciencia. En la Tabla 2 se presentan los argumentos controversiales sobre los beneficios o los riesgos que representa la modificación de caracteres en plantas y alimentos GM.

Tabla 2. Controversias sobre la acepción de caracteres modificados en GMO.

MODIFICACIÓN	A R G U M E N T O S	
	EN CONTRA	A FAVOR
Actividad farmacéutica	Pueden contaminar alimentos.	Es un beneficio para la salud humana.
Compuestos tóxicos	Glifosato, bromoxinil, metales pesados.	Pueden controlarse.
Efectos a largo plazo	No se conocen.	No son un riesgo.
Resistencia a plagas	Los insecticidas internos no son específicos, atacan también insectos beneficiosos. Los insectos desarrollan resistencia contra el insecticida.	El insecticida es muy específico, como el Bt que permite controlar el ataque de los insectos.
Semillas GM Tolerancia a herbicidas	Genera dependencia. Los cultivos GM requieren el uso de mayores cantidades de herbicidas, nocivos para el ambiente y para los humanos. Podrían surgir supermalezas.	Control de cultivos GM. Los herbicidas destruyen malezas y no los cultivos GM resistentes, lo cual disminuye los costos de producción.
Transferencia vertical de genes modificados	Liberación de material genético en las paredes	Digestión del material genético antes de cruzar la barrera intestinal.

(Modificado de: Connect otel, 2003)

Estas controversias pueden analizarse en base a los riesgos en el flujo de genes en el campo cultivado, las implicaciones de las variaciones de ADN y de proteínas en los alimentos GM y la propuesta de un etiquetado que permita seleccionar o rechazar alimentos GM.

1. Flujo de genes de plantas GM a otros genomas.

Los genes de las plantas GM pueden ser transferidos a otros genomas no GM por medio de su polen, sus semillas o sus tejidos. Las vías de dispersión

pueden ser bióticas o abióticas como en la polinización, según el transporte sea por zoogamia mediado por animales, por hidrogamia mediado por agua o por anemogamia mediado por el viento (Font Quer, 1979). La zoogamia más frecuente es la del polen entomófilo; en particular, el flujo de genes mediado por una abeja puede considerarse como una función de la deposición de polen viable y compatible entre el emisor y el receptor (Schuler *et al.*, 1998) y de la dinámica espacio-temporal en las rutas de pecoreo. El flujo de polen en el campo sólo puede controlarse con aislamiento, lo cual es poco práctico. Sin embargo, pueden considerarse diversas opciones para la disminución del transporte de genes de origen vegetal mediante el polen o las semillas: 1. Uso de trampas para polen GM. 2. Diseño de plantas que producen poco polen. 3. Control de floración. 4. Diseño de plantas con polen incompatible. 5. Minimizar la inclusión de genes superfluos. El manejo de las bases moleculares de la floración permite producir flores con anteras infértiles en plantas donde no se cosechan flores, ni semillas, ni frutos. También puede pensarse en barreras pre o post-fertilización, que obstaculicen la fertilización de los óvulos o la producción de semillas (Williams 2002).

2. Contenido de ADN y proteínas en los alimentos GM.

Todos los alimentos que contienen células de origen vegetal y animal contienen ADN. Luego del procesamiento industrial, algunos productos contienen poco ADN, como los aceites y las fibras. Si bien los alimentos GM provienen de plantas GM, su contenido de ADN es prácticamente el mismo pero contiene secuencias adicionales de los genes insertados. En proporción al ADN original, estas inserciones son ínfimas, casi insignificantes; pero codifican proteínas cuya presencia representa cambios notables según su función y sus efectos. El catabolismo del ADN durante la digestión y la asimilación, no permite que genes intactos atraviesen las paredes intestinales y se incorporen a la microflora intestinal para sintetizar proteínas GM (Jonas *et al.*, 2001).

La actividad biológica de las proteínas depende del tipo de célula donde se expresa. La misma vía biosintética puede producir moléculas tóxicas, alergénicas o carcinogénicas. Con un enfoque citológico, la penetración de plantas GM en los mercados alimentarios representa también dos tipos de riesgo: 1. El mismo gen en dos tipos de células puede codificar proteínas diferentes 2. Las rutas enzimáticas introducidas para sintetizar pequeñas moléculas pueden interactuar con rutas endógenas

(Schubert, 2002; Bakshi, 2003). Los genes parecen operar en batería y no individualmente, cada uno desde su locus. Este enfoque logra encontrar conexiones de genes en los procesos claves que regulan patrones de embriogénesis, como regulación de transcripción, apoptosis y señalización intercelular (Hackam *et al.*, 2003). Por ello, la presencia de ADN foráneo no sólo implica riesgos alérgicos de nuevas proteínas sino la aparición de vías interactivas con posibles alteraciones mucho más complejas de detectar.

3. Etiquetado de alimentos provenientes de GMO.

Este es otro gran debate. Por un lado se exige informar al consumidor, lo cual es aceptable. Por otro lado la información puede ser contradictoria si incluye frases a favor o en contra de los alimentos GM. Pareciera que las etiquetas de los alimentos no son el lugar apropiado para educar a los consumidores. Es necesario buscar vías de mutuo acuerdo para evaluar el proceso, considerando esquemas que permitan filtrar, estructurar, interpretar y seleccionar información pertinente. Según la FDA (2001), los alimentos GM son seguros y no requieren de etiquetado especial. El término modificado es muy amplio, y la expresión libre de GMO puede ser confusa en la mayoría de los alimentos o de sus ingredientes, excepto para las semillas y el yogurt que contienen microorganismos intactos. Sin embargo, la FDA promueve servicios para la salud humana (HHS News, 2001) con propuestas de una etiqueta voluntaria para asistir a los productores y orientar a los consumidores. Se sugiere una etiqueta con frases precisas como: "derivado de biotecnología", "ingeniado genéticamente", "este producto contiene maíz producido utilizando biotecnología", "este producto contiene aceite de soya con elevado contenido de ácido oleico obtenido de granos de soya desarrollados utilizando biotecnología para reducir la cantidad de grasa saturada", "estos tomates fueron procesados con ingeniería genética para mejorar su textura", "algunos de nuestros productores siembran semillas de tomate con biotecnología desarrollada para aumentar el rendimiento de las cosechas". En lugar de mezclar todos los genes y esperar el resultado del híbrido, la ingeniería genética selecciona genes para obtener rasgos específicos cuando se insertan en otro genoma. Hay más control y precisión en el proceso. El nuevo gen insertado en la planta codificará proteínas como los demás genes, con las funciones programadas que pueden ser especificadas claramente en una etiqueta de alimentos.

Es curioso que en la etiqueta alimentaria se exija información sobre el jugo de naranja reconstituido a partir de concentrados, pero que la presencia de

agrobiotecnología pretenda ocultarse en el anonimato (Holdrege, 2002). Este tipo de observaciones claves no desacreditan ningún tipo de tecnología pero exigen que no se oculte el origen de los alimentos para el consumidor, que se mantenga un proceso transparente en beneficio de productores y consumidores. Para quienes decidan no consumir alimentos GM, se recomienda vigilar alimentos industrializados que contengan maíz y sus derivados (almidón, almidón modificado, aceite, jarabe, sólidos de jarabes, dextrosa), soya y sus derivados (proteína vegetal hidrolizada, harina, aceite, salsa, lecitina E322, tofu, aceite), tomates y sus derivados (pasta, puré, salsa) y edulcorantes obtenidos por bacterias GM (Aspartame, Equal, Nutrasweet).

Utilizando otra perspectiva, Zepeda (2001) considera que la información sobre GMO en las etiquetas de alimentos, puede promover la educación del público consumidor, disminuir su actitud aprehensiva y aumentar la aceptación de la tecnología. La presencia de información en la etiqueta es percibida de alguna manera como asunto con riesgos bajo control. La confianza del consumidor aumenta con estándares consistentes a nivel internacional, aceptados en el *Codex Alimentarius* (Wong, 2003). También es importante comunicar los beneficios de la agrobiotecnología, para que el consumidor pueda comparar productos GM y naturales con su nivel cultural, a fin de seleccionar cuáles alimentos GM preferiría consumir (Righelato, 2001). Propuestas para utilizar las etiquetas como herramientas educativas han sido sustentadas en programas como el *perception analyzer* para monitorear variables demográficas y de conocimiento, con la posibilidad de obtener interpretaciones rápidas de la percepción pública y realizar adaptaciones (Papakonstantinou *et al.*, 2002). La sugerencia más reciente en un estudio norteamericano sobre preferencias del consumidor, obtenida con estadística robusta de 28 clasificadores para seis variables (atributos de la etiqueta, género, educación, ingresos, edad y origen étnico del consumidor) propone el etiquetado con texto explicativo de los beneficios y con un logotipo característico de alimentos GM (Harrison y McLennon, 2003).

SISTEMAS DE BIOSEGURIDAD

El impacto de los cultivos GM tiene beneficios y riesgos potenciales tanto para el productor como para el consumidor, en términos de productividad agrícola, salud humana y de impacto ambiental.

Independientemente de la opinión a favor o en

contra de la agrobiotecnología, se requiere de métodos analíticos adecuados para comparar la composición y los efectos de alimentos GM con sus contrapartes originales no GM, y propuestas integradoras para entender sus efectos en el ambiente. Los análisis de alimentos GM utilizan la reacción en cadena de la polimerasa PCR (del inglés *polymerase chain reaction*) para amplificar segmentos de nucleótidos, evalúan presencia de transgenes y utilizan genes endógenos como controles internos. Los controles oficiales requieren determinaciones cuantitativas conocidas como QC-PCR (del inglés *quantitative competent*) y PCR de tiempo real (Hubner *et al.*, 2001). En cuanto a los bioensayos, se requieren nuevos modelos animales para evaluar la alergias ocasionadas por el consumo de alimentos GM, porque pueden sensibilizar nuevos segmentos de la población humana expuesta y genéticamente predispuesta a desarrollar alergias hacia este tipo de nuevas proteínas (Tryphonas *et al.*, 2003).

Un sistema de bioseguridad es el conjunto de instrumentos legales, procedimientos, métodos y estrategias utilizados para garantizar la seguridad en la evaluación y el manejo de los riesgos de una aplicación tecnológica en la salud del ambiente y del hombre, junto con los potenciales beneficios. Los sistemas de bioseguridad deben ser flexibles para permitir su actualización y requieren de comunicación entre los organismos de educación e investigación, los productores y los ministerios públicos. El sistema de bioseguridad del modelo argentino fue uno de los primeros en establecerse y contiene cuatro elementos, previos a la ley de bioseguridad con sanciones para el incumplimiento (Burachik y Traynor, 2001): 1. Los documentos regulatorios con las obligaciones de los miembros de comisiones de bioseguridad, describen las aplicaciones y los procedimientos para la liberación de GMO en el ambiente, pueden ser nuevos o adaptaciones de documentos existentes. 2. Las personas aplicantes interesados en conducir pruebas de campo en cultivos GM y los miembros de la comisión de revisión. 3. El proceso de revisión es una evaluación sistemática del lugar y de las condiciones donde crecerá la planta GM. Los riesgos potenciales identificados se manejan hasta alcanzar un nivel aceptable. 4. Los mecanismos de retroalimentación se utilizan para incorporar experiencias acumuladas.

Burachik (2002) considera cuatro tipos de políticas de adopción de nuevas tecnologías: 1. Promocional, acelera la adopción. 2. Objetiva, es neutral respecto a la nueva política. 3. Cautelosa, retarda la adopción. 4. Preventiva, bloquea la adopción. En materia de bioseguridad, una política promocional no analiza impactos y aprueba artículos vigentes en otros países

sin revisar casos, activando flujos de producción y comercio. Las políticas objetivas analizan los GMO con los estándares de impacto ambiental y seguridad alimentaria aceptados para los no GMO. Las políticas cautelosas consideran los GMO demasiado recientes y por ello les someten a revisiones más exigentes para tratar de evaluar riesgos aún no demostrados, exigiendo estudios a largo plazo, etiquetado y segregación de no GMO. Finalmente, las políticas preventivas son adoptadas por algunas asociaciones ecologistas y niegan los permisos para cultivar GMO o utilizar sus derivados, con moratorias indefinidas por motivos de rechazo del consumidor y barreras para-ancelarias.

PERCEPCIÓN PÚBLICA

Luego de haber presentado una secuencia de aspectos que permiten integrar la composición de un panorama desde los elementos de la herencia que fundamentan las propuestas de agrobiotecnología hasta los marcos regulatorios que sustentan las propuestas de sistemas de bioseguridad, es necesario considerar la percepción pública. Los proponentes de la biotecnología y una gran porción de los políticos agrarios en el mundo proyectan un futuro mejor con tecnologías capaces de ofrecer suficientes alimentos, mejorar el ambiente, curar y eliminar enfermedades, encaminar una sociedad próspera y saludable; pero existe la desesperanza de otro grupo no insignificante sobre las amenazas ambientales, el peligro para la salud humana y la involución social (Phillips, 2002).

Por un lado se entiende que un estudio novedoso requiere de propaganda para obtener recursos; sin embargo, sus resultados generan controversias cuando se pretenden éxitos no alcanzados. Por ejemplo, la controversia del arroz dorado. La propuesta de un vehículo cotidiano de la dieta en países pobres para corregir la deficiencia de vitamina A causante de ceguera, se convirtió en el reto de producir granos de arroz con elevado contenido de carotenos, precursores vegetales de la vitamina A. El logro científico fue notable y el producto es un arroz más amarillo debido a la coloración conferida por los carotenos. La controversia surge cuando se publican y se divulgan aplicaciones irreales, creíbles por un público no informado. Para obtener los requerimientos diarios de vitamina A, un niño debería consumir más de 3 Kg de arroz dorado diariamente, porque la conversión de β -caroteno en vitamina A no es eficiente (Anarac, 2003). Utilizar el hambre y la ceguera infantil para promover investigaciones científicas que no resuelven estos problemas, no es una buena práctica ética. La estrategia publicitaria del arroz dorado fue equivocada pero

tampoco son mejores las estrategias alarmistas y generadoras de violencia hacia la agrobiotecnología.

Existen motivaciones racionales, económicas y éticas necesarias para lograr un balance entre los riesgos y los beneficios que representa la inserción de productos GM en el mercado agroalimentario. Gracias a la ciencia y la tecnología, las generaciones futuras tendrán más oportunidades, pero al inicio los productos son más defectuosos mientras alcanzan perfeccionamiento. La dificultad de evaluar los cambios de percepción contemporáneos con la discusión de eventos de riesgo presentada en los medios, es difícil pero puede evaluarse en el marco de la amplificación social del riesgo; en referencia al consumo de alimentos GM, el público británico mantiene confianza sobre la protección ofrecida por sus organismos regulatorios pero presenta fluctuaciones de aceptación y rechazo (Frewer *et al*, 2002). El público suele temer asuntos que no comprende. La alfabetización científica puede compararse con las siguientes cifras para Canadá (61%), Unión Europea (48%), Estados Unidos (38%) y Japón (37%), y tratar de predecir cómo reaccionan las poblaciones frente al bombardeo de información complicada (Conroy, 2002). La comprensión de la tecnología es importante para el debate y la decisión sobre el consumo de derivados GM.

La brecha entre la aceptación social de GMO y el desarrollo tecnológico se debe a la amplia necesidad de productos biomédicos y la opción en la selección de alimentos, donde se torna conflictivo el uso de GMO (Ispas, 2002). La aceptación de soya GM fue mayor en un grupo con información previa sobre sus beneficios que en otro grupo informado sobre la ausencia de beneficios por el consumo de soya GM, indicando la necesidad de educación de los consumidores para comprender las implicaciones de dietas GM (Brown y Ping, 2003). En México se detectaron fallas de interés en biotecnología por estudiantes universitarios de Administración y Ciencias Sociales, comparados con estudiantes de Biología e Ingeniería (Lisker, 2002). Esta temprana paradoja entre ciencias aplicadas y sociales refleja la convicción de la industria GM y la incertidumbre de las instituciones sociales para adoptar propuestas de agrobiotecnología con fines de bienestar social (Phillips, 2002). Es necesario organizar la información en grandes bloques donde se puedan interrelacionar los diferentes datos para uso familiar, educativo, laboral, político y social. La mayor competencia tecnológica podría permitir aumentar la confianza y disminuir la preocupación por cambios que están ocurriendo muy velozmente.

El periodismo maneja términos científicos con observaciones sorprendentes como la de Rangel Aldao (2003) "la biotecnología será pronto un anacronismo,

y no tendría sentido un término que signifique poco o nada en el cambiante mundo tecnológico, y lo peor es que aquí no se han percatado ni los defensores del consumidor y mucho menos el Estado". Apreciaciones como ésta permiten reflexionar sobre el contraste entre el avance tecnológico, la información al público y el retraso en las normas que deberían reglamentar la implementación de la tecnología. Ser informado es un derecho, pero informarse también es un deber para incorporar los nuevos paradigmas en las necesidades de un profesional actualizado en ciencias de la salud. No se puede permanecer desvinculado en Facultades de Agronomía, Bioanálisis, Ciencias, Farmacia, Ingeniería, Medicina, porque es necesario otro tipo de relaciones para propuestas integrales de salud humana.

CONSIDERACIONES FINALES

Debido a sus conocimientos, los científicos tienen un poder que los hace peligrosos, pero ese mismo poder les permite hacer grandes contribuciones en beneficio de la humanidad. Es necesario vivir esa paradoja para tener la oportunidad de seguir descubriendo la naturaleza.

Un amplio segmento de la población humana está expuesta a derivados GM, por ello es recomendable la vigilancia informativa pre y post-mercado, con la modernización concomitante de las técnicas analíticas indispensables para evaluar los efectos atribuidos a esta tendencia. Sobreestimar o subestimar los efectos nocivos atribuidos a la agrobiotecnología, es una actitud alarmista o superficial, no acorde con la solidaridad humana que posiblemente alimenta la curiosidad necesaria para alcanzar niveles superiores de desarrollo. Los cultivos GM constituyen una propuesta válida, que requiere controles tecnológicos y éticos para asegurar los beneficios de su aplicación.

En un mundo utópico, mientras más ciudadanos conozcan y comprendan su entorno y sus necesidades, mejor será la situación de sus habitantes para comprender y resolver un problema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anarac. 2003. www.anarac.com/can_gm_food_solve_world_hunger.htm [recuperado el 18.06.03].

Artunduaga, R. 2002. **Impacto de la biotecnología en el desarrollo sustentable de los países de América Latina y el Caribe**. BIOLAC, Bioseguridad en Agrobiotecnología: Manejo del Riesgo y Percepción Pública, Caracas 17-21 Junio.

Bakshi, A. 2003. **Potential adverse health effects of genetically modified crops**. Journal of Toxicology

and Environmental Health. Part B. Critical Reviews 6:211-225.

Brown, J.L., Ping, Y. 2003. **Consumers perception of risk associated with eating genetically engineered soybeans is less in the presence of a perceived consumer benefit**. Journal of the American Dietetic Association 103:208-214.

Burachik, M. 2002. **Revisión crítica de los procedimientos políticos en biotecnología**. BIOLAC, Bioseguridad en Agrobiotecnología: Manejo del Riesgo y Percepción Pública, Caracas 17-21 Junio.

Burachic, M., Traynor, P.L. 2002. **Analysis of a National biosafety system: Regulatory policies and procedures in Argentina**. ISNAR Country report 63, La Haya, Holanda; 58 pp.

Connectotel. 2003. **Genetically modified food ingredients to watch**. www.connectotel.com/gmfood/gmwrong.html [Recuperado el 18.06.03].

Conroy, J. 2002. **Biotecnología: Comparación de las opiniones en Europa y las Américas**. BIOLAC, Bioseguridad en Agrobiotecnología: Manejo del Riesgo y Percepción Pública, Caracas 17-21 Junio.

Curtis, H., Barnes, N.S. 1994. **Biología**. 5ª Edición. Editorial Médica Panamericana; Buenos Aires; Argentina; 1199 pp.

Font Quer, P. 1979. **Diccionario de Botánica**. Editorial Labor; Barcelona, España; 1244 pp.

Food and Drug Administration. 2001. **Guidance for industry. Voluntary labelling indicating whether foods have or have not been developed using bioengineering**. U.S. FDA. Center for Food Safety and Applied Nutrition, January. <http://www.cfsan.fda.gov/label.html> [Recuperado el 20.05.01]

Food for Our Future. 2003. **Genetic modification of major crops, summary of current development**. www.foodfuture.org.uk [recuperado el 18.06.03].

Frewer, L.J., Miles, S., Marsh, R. 2002. **The media and genetically modified foods: evidence in support of social amplification of risk**. Risk Analysis 22:701-711.

Hackam, A.S., Bradford, R.L., Bakhru, R.N., Shah, R.M., Farkas, R., Zack, D.J. 2003. **Gene discovery in the embryonic chick retina**. Molecular Vision 9:262-276.

Harrison, R.W.; McLennon, E. 2003. **Analysis of U.S. consumer preferences for labeling of biotech food**. 13th Annual World Food and Agrobusiness Forum; Cancún, México; 13 pp.

Health and Human Services News. 2001. **FDA announces proposal and draft guidance for food developed through biotechnology**. <http://www.fda.gov/bbs/topics/NEWS/2001/NEW00747.html> [Recuperado el 20.05.01].

Holdrege, C. 2002. **We label orange juice but why not genetically modified food?.** The Land Institute, released 23 October by the Prairie Writers Circle PWC.

Hubner, P., Waiblinger, H.U., Pietsch, K., Brodmann, P. 2001. **Validation of PCR methods for quantitation of genetically modified plants in food.** Journal AOAC International 84:1855-1864.

Ispas, I. 2002. **Conflicts of interest from a Romanian geneticist's perspective.** Science and Engineering Ethics. 8:363-368.

Jonas, D.A., Elmadfa, I., Engel, K.H., Heller, K.J., Kozianowski, G., Konig, A., Muller, D., Narbonne, J.F., Wackemagel, W., Kleiner, J. 2001. **Safety considerations of DNA in food.** Annals of Nutrition and Metabolism 45:235-254.

Lisker, R., Carnevale, A., Pérez Vera, P., Betancourt, M. 2002. **Opinions of a group of university students about science and technology.** Revista de Investigaciones Clínicas 54:422-429.

Papakonstantinou, E., Hargrove, J.L., Huang, C.L., Crawley, C.C., Canolty, N. 2002. **Assessment of perceptions of nutrition knowledge and disease using a group interactive system: The Perception Analyzer.** Journal of the American Dietetic Association 102:1663-1668.

Phillips, P.W. 2002. **Biotechnology in the global agri-food system.** Trends in Biotechnology 20:376-381.

Rangel Aldao, R. 2003. **Biotecnología será pronto un anacronismo.** El Universal, 15 Junio.

Righelato, R. 2002. **Food labels should state the benefits of GMOs.** Nature 419:337.

Schubert, D. 2002. **A different perspective on GM food.** Nature Biotechnology 20:969-971.

Schuler, T.H., Poppy, G.M., Kerry, B.R., Denholm, I. 1998. **Insect resistant transgenic plant.** Trends in Biotechnology 16:168-175.

Thomas, J.A. 2003. **Safety of foods derived from genetically modified plants.** Texas Medicine 99:66-69.

Tryphonas, H., Arvanitakis, G., Vavasour, E., Bondy, G. 2003. **Animal models to detect allergenicity to foods and genetically modified products.** Environmental Health Perspective 111:221-222.

Williams, I.H. 2002. **Cultivation of GM crops in the EU, farmland biodiversity and bees.** Bee World 83: 119-133.

Wong D. 2003. **Genetically modified food labelling.** Research and Library Services Division, Legislative Council Secretariat RP05/02-03; Hong Kong; 35 pp.

Zepeda, L. 2001. **Labelling GM food may clear economic jam for farmers.** American Association for the Advancement of Science. <http://www.globaltechnoscan.com/28thFeb-6thMarch01/food.htm> [recuperado el 20.05.01].

Zweiger, G. 2002. **El Genoma.** McGraw-Hill; México DF, México; 366 pp.