

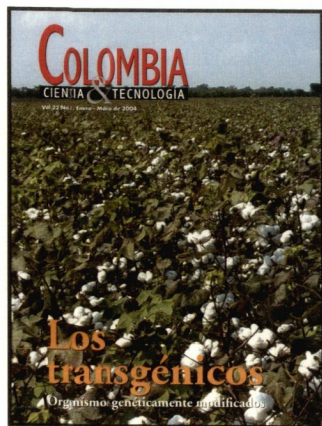
COLOMBIA

CIENCIA & TECNOLOGÍA

Vol 22 No. 1. Enero - Marzo de 2004

Los transgénicos

Organismos genéticamente modificados



Vol 22 No. 1 Enero - Marzo de 2004



COLCIENCIAS

Transversal 9A BIS No. 132-28

Teléfonos (091) 216 9800

Fax 625 1788

www.cdciencias.gov.co
Bogotá D.C., Colombia





5 Los alimentos genéticamente modificados y la salud humana. Un debate social pertinente

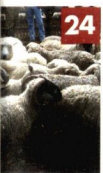
Es un asunto de importancia mundial proceder con pleno conocimiento sobre todos los factores que intervienen en los OGM tanto en la agricultura como sus efectos sobre la salud humana.
 Por Felipe García Vallejo.



16 Organismos genéticamente modificados. Cambio técnico y evaluación de su introducción en el sector agrícola

A manera de caso se señalan aquí unos parámetros generales (basado en desarrollos, estudios y ejercicios que se vienen adelantando internacionalmente) de los elementos que debería contemplar un estudio de factibilidad y de impacto socioeconómico de la incorporación de una biotecnología específica, los OGMs, para uso agrícola, al aparato productivo colombiano.

Por Juan Carlos Rodríguez Cárdenas / Ángela Rocío Vásquez Urriago



24 Perspectivas en beneficio de la transgénesis animal. Nuevas tecnologías basadas en genes

La transferencia de genes o transgénesis en animales ofrece un enorme potencial para modificar características como la fertilidad y la resistencia a enfermedades. Esto debido a que se pueden adicionar, reemplazar o inactivar genes específicos "IN VITRO" en sus células germinales.

Por Claudia Forero N. Bióloga.



32 Medio ambiente y cultivos genéticamente modificados

Después de una década de comercialización de cultivos transgénicos, se han evidenciado y documentado científicamente beneficios ambientales como resultado de su utilización. Esto también depende del cultivo GM y de la región en donde se utilice.

Por María Susana Carrizosa P & Elizabeth Hodson de Jaramillo.



44 Estado actual de los cultivos genéticamente modificados

A pesar del debate existente sobre cultivos genéticamente modificados (GM), en el año 2002, el área global de cultivos transgénicos continuó creciendo por sexto año consecutivo a un porcentaje más alto de 10% por año. Esto debido a los múltiples beneficios que ofrecen este tipo de cultivo.

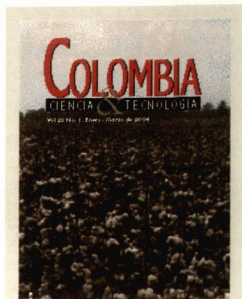
Por Fernando Ángel



52 Los transgénicos su imagen y su público

La relación que la sociedad establece con la biotecnología no es homogénea. Para referirse al carácter plural de estas relaciones se utiliza el término de percepciones públicas. Se presenta la elaboración social de conocimiento sobre biotecnología y algunas observaciones sobre el trabajo inicial de construir saber social sobre biotecnología en Colombia en el campo específico de los alimentos transgénicos.

Por Carlos José Parales



DIRECTORA GENERAL
 MARÍA DEL ROSARIO GUERRA DE MESA

SUBDIRECTORA DE PROGRAMAS ESTRATÉGICOS
 ZULY DAVID HOYOS

JEFE DE DIVISIÓN DE CIENCIA, COMUNICACIÓN Y CULTURA
 TANIA ARBOLEDA CASTRILLÓN

EDITORA
 JULIA PATRICIA AGUIRRE GUZMÁN
 jaguirre@colciencias.gov.co

EDITORES INVITADO
 FELIPE GARCÍA VALLEJO
 MYRIAM DE PEÑA

DISEÑO
 STELLA DELGADO
 HUGO ROJAS

FOTOGRAFÍA PORTADA
 MARÍA SUSANA CARRIZOSA

FOTOGRAFÍAS
 ARCHIVO COLCIENCIAS

FOTOMECÁNICA E IMPRESIÓN
 IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA

Publicación trimestral de Colciencias sobre la actividad científica y tecnológica de Colombia. Colciencias acoge en esta publicación opiniones de alto nivel de reflexión con el propósito de fomentar una rigurosa controversia intelectual sobre política científica y tecnológica. Cualquier artículo se puede reproducir, siempre y cuando se cite la fuente

Un "organismo vivo modificado" es cualquier organismo que tenga una nueva combinación de material genético producida mediante métodos biotecnológicos modernos y forma parte del subconjunto de organismos genéticamente modificados (OGM). Las semillas, las estacas y los tejidos vegetales de cultivos genéticamente modificados son partes vivas de las plantas y, por lo tanto, son OVM. No podemos hablar con pertinencia de los OGM mientras el debate se mantenga entre generalidades. Por este motivo, es que Colciencias tomó la decisión de apoyar la publicación de un número especial de la revista dedicado exclusivamente a analizar el tema de los organismos genéticamente modificados desde diferentes ópticas y expuesto, de manera accesible, por varios investigadores de amplia trayectoria en el tema.

Sólo siete países en desarrollo cultivan comercialmente productos modificados genéticamente, sin embargo casi todas las superficies en producción (salvo en Argentina y Chile) tienen menos de 100.000 hectáreas. En la actualidad la superficie agrícola total dedicada a cultivos modificados genéticamente es de aproximadamente 44,2 millones de hectáreas, mientras que hace apenas unos años eran sólo 11 millones de hectáreas. Alrededor del 75% de esta superficie está en los países industrializados. La mayor parte de estos cultivos se concentran en cuatro productos: soya, maíz, algodón y canola. Casi el 16% del total de la superficie dedicada a estos cultivos está produciendo variedades modificadas genéticamente, con dos características predominantes: la resistencia a los insectos y la tolerancia a los herbicidas. También hay superficies reducidas en las que se producen papas y papayas, productos a los que se les han añadido genes para demorar su maduración y resistir a los virus.

En la actualidad los OGM ya hacen parte de la gama creciente de productos biotecnológicos y progresivamente de nuestra actual dieta. Los científicos, tanto los del sector público como los del privado, consideramos sin duda a la modificación genética como un importante nuevo conjunto de instrumentos tecnológicos, a la vez que la industria encuentra en ellos una oportunidad de incrementar sus ingresos. A pesar de eso, el público de muchos países no confía en los OGM, pues a menudo los ve como parte de la globalización y la privatización, los considera antidemocráticos o que interfieren con la evolución biológica. A la vez, los gobiernos carecen de políticas congruentes en materia de OGM y aún no han creado ni aplicado instrumentos e infraestructuras adecuados de reglamentación.

En la mayor parte de los países no hay consenso en la posible intervención de la biotecnología y en particular los OGM, en los principales desafíos del sector alimentario y agrícola. Por lo pronto la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha planteado la necesidad de evaluar los OGM desde el punto de vista de sus repercusiones en la seguridad alimentaria, la pobreza, la bioseguridad y la sostenibilidad de la agricultura. En este contexto, los cultivos modificados genéticamente no se pueden ver en forma aislada, como meras conquistas técnicas.

A medida que aumentan las aplicaciones de la modificación genética, la comunidad internacional necesita asegurar que los cultivos modificados genéticamente hagan un aporte significativo a la seguridad alimentaria mundial, a la inocuidad y calidad de los alimentos, así como a la sostenibilidad además que estén disponibles para el público en general. Sin embargo, pese a los indicios alentadores, el inventario de la FAO indica que la genómica y la investigación asociada no se están orientando a estos importantes desafíos.

La modificación genética no es un bien en sí misma, sino un instrumento integrado en un programa de investigación más amplio, en el que la investigación pública y la privada pueden compensarse. Orientar correctamente la investigación, así como crear acuerdos internacionales adecuados sobre inocuidad y acceso, es una tarea difícil y de gran responsabilidad. Si bien hoy es más evidente que nunca la necesidad de gestionar con responsabilidad los bienes públicos internacionales, los instrumentos políticos para hacerlo son débiles y en una economía globalizada, a menudo no se escucha la voz de los países pequeños, de los productores pobres y de los consumidores.

Por: Felipe García Vallejo, Ph.D.
 Subdirector de Programas de
 Desarrollo Científico y Tecnológico
 Colciencias

LOS ALIMENTOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS Y LA SALUD HUMANA

Un debate social pertinente

Es un asunto de importancia mundial proceder con pleno conocimiento sobre todos los factores que intervienen en los OGM, tanto en la agricultura como sus efectos sobre la salud humana.



Dr. Felipe García Vallejo, PhD.
Director Científico del Laboratorio de
Biología Molecular y Patogénesis
Cultivos de Salud
Universidad del Valle
Coordinador de Programas de Desarrollo
Científico y Tecnológico
Ciencias

En los próximos 30 años, dos mil millones de personas más dependerán de la agricultura para su subsistencia mientras los recursos naturales son cada vez más frágiles [1]. La respuesta a este reto reside en tecnologías que combinen diferentes objetivos: aumentar el rendimiento y abaratar los costes, defender el medio ambiente, responder a las preocupaciones de los consumidores en materia de calidad e inocuidad de los alimentos, potenciar los medios de subsistencia rurales y la se-

guridad alimentaria de las comunidades más pobres.

Un "organismo vivo modificado" es cualquier organismo que tenga una nueva combinación de material genético, producida a través de métodos biotecnológicos modernos, y forma parte del subconjunto de organismos genéticamente modificados (OGM). Las semillas, las estacas y los tejidos vegetales de cultivos genéticamente modificados son partes vivas de las plantas y, por lo tanto, son OVM



Los primeros datos científicos sobre las repercusiones de la ingeniería genética en la salud y el medio ambiente demuestran que es necesario seguir investigando las posibles implicaciones de los OGM. En general, los investigadores estamos de acuerdo en que los cultivos transgénicos sembrados en la actualidad y los alimentos derivados de ellos son inocuos, a pesar de que se sabe poco de sus efectos a largo plazo.

Se reconoce el gran potencial y las complicaciones de las nuevas biotecnologías alimentarias, sin embargo es necesario proceder con cautela, con un pleno conocimiento de todos los factores que intervienen. En particular, es fundamental evaluar los OGM desde el punto de vista de sus repercusiones en la seguridad alimentaria, la pobreza, la bioseguridad y la

sostenibilidad de la agricultura. Los cultivos modificados genéticamente no se pueden ver en forma aislada como meras conquistas tecnológicas si no como soluciones reales al problema de la equidad social.

La Comisión del Codex Alimentarius de La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha llegado a un acuerdo sobre los principios y directrices de evaluación de los peligros para la salud relacionados con los alimentos derivados de la biotecnología moderna. Los miembros de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria están elaborando normas para el análisis de peligro de plagas para los organismos vivos modificados. Estas normas pueden contribuir a armonizar las medidas reguladoras en todo el mundo.

EN GENERAL, LOS INVESTIGADORES ESTAMOS DE ACUERDO CON QUE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS



Conforme aumentan las aplicaciones de la modificación genética, la comunidad internacional necesita asegurar que los cultivos modificados genéticamente hagan una óptima aportación a la seguridad alimentaria mundial, a la inocuidad y calidad de los alimentos, así como a la sostenibilidad además que estén disponibles para el público en general. Sin embargo, pese a los indicios alentadores, el inventario de la FAO indica que la genómica y la investigación asociada no se están orientando a estos importantes desafíos.

En suma es un asunto de importancia mundial del cual debemos acercarnos con mente abierta y crítica para poder decantar toda la información confiable o no sobre la importancia de los OGM tanto en la agricultura como sus efectos sobre la salud humana. También debemos cuestionarnos

sobre el dilema de aumentar la producción y calidad nutricional de los alimentos para enfrentar el hambre mundial que estamos viviendo y que podría durar hasta mediados del siglo XXI.

LOS ALIMENTOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

Los organismos genéticamente modificados (OGM) pueden definirse como aquellos en los cuales el material genético (ADN) ha sido alterado de un modo artificial^{2, 3}. Es fundamental destacar que la modificación artificial consiste en la introducción de un transgen (gen que el organismo no modificado no tiene) mediante métodos de transferencia genética. Esta tecnología generalmente se denomina Transgénesis^{4, 5}. Su aplicación permite no solamente transferir genes individuales seleccionados de un or-

1. Timmer CP. Biotechnology and food systems in developing countries. *Nutr.* 2003;133:3319-22.
2. Recillas-Targa F. Gene transfer and expression in Mammalian cell lines and transgenic animals. *Methods Mol Biol.* 2004;267:417-34.
3. Lorence A, Verpoorte R. Gene transfer and expression in plants. *Methods Mol Biol.* 2004;267:329-50.

NO INOCUOS, A PESAR DE QUE SE SABE POCO DE SUS EFECTOS A LARGO PLAZO.



ganismo a otro si no también entre especies no relacionadas evolutivamente.

Una vez que los científicos entendieron el código del ADN, se inició la búsqueda de métodos que permitieran cambiar las instrucciones en los genes, introducir las en las células para que éstas produjeran más o mejores compuestos químicos necesarios, llevaran a cabo procesos útiles o generaran organismos con características deseables. La diferencia aportada por la Transgénesis es que actualmente no sólo sabemos cómo usar las células u organismos que existen en la naturaleza, sino que hemos aprendido a modificarlos y manipularlos en función de nuestras necesidades. El resultado fue la conformación de la moderna ingeniería genética, que nos da la capacidad de mani-

pular y transferir "instrucciones químicas" de un organismo a otro.

Algunas enzimas y aditivos utilizados en el procesamiento de los alimentos se obtienen desde hace años mediante ingeniería genética. La quimosina, por ejemplo, enzima empleada en la fabricación del queso y obtenida originalmente del estómago de terneros, se produce ahora utilizando microorganismos en los que se ha introducido el gen correspondiente. Sin embargo, la era de los denominados alimentos genéticamente modificados o alimentos transgénicos para el consumo humano directo se inició el 18 de mayo de 1994, cuando la Administración de alimentos y drogas de los Estados Unidos (FDA) autorizó la comercialización del primer alimento con un gen "extraño", el tomate "Flavr-Savr", obte-

4. Colasino A, Iancz KK, Holmes AR, Kuzelzman K, Iovelli G, Malone RW, Bennett JJ, Grunert DC. Transfer and expression of foreign genes in mammalian cells. *BioTechniques*. 2000;29:14-8

5. Montoli L. Gene transfer strategies in animal transgenesis. *Cloning Stem Cells*. 2002;4:3-46.

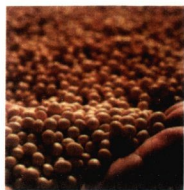
nido por la empresa Calgene. A partir de este momento, se han obtenido cerca del centenar de vegetales con genes ajenos insertados, que se encuentran en distintas etapas de su comercialización, desde los que representan ya un porcentaje importante de la producción total en algunos países hasta los que están pendientes de autorización.

Todas las variedades vegetales nuevas, antes de ser comercializadas, tienen que pasar por múltiples ensayos biológicos y de control de calidad. Esas pruebas involucran plantarlas en cultivos de ensayo, luego esos cultivos se cosechan y analizan y se los prueba en ganado para asegurar que su consumo no ofrece peligro. Los productos derivados se los ensaya en lo que se refiere a la inocuidad en seres humanos o animales.

Todo nuevo alimento bien sea producido mediante una metodología convencional o por procesos biotecnológicos, es siempre sometido a una evaluación de se-

cerla más resistente a herbicidas y el maíz, al que se le modificó para resistir determinados insectos y generar mayores rendimientos por cultivo y cosecha⁶.

La percepción pública general considera que los alimentos tradicionales (no modificados genéticamente) son inocuos y aptos para el consumo. Este concepto ha sido revaluado en la medida en que se ha investigado que muchos de los alimentos que consumimos diariamente pueden tener, de acuerdo con nuestro background genético, efectos perjudiciales para nuestra salud. Parte de la explicación también es que cuando se desarrollan nuevas variedades o razas, por métodos naturales, como fuente de alimentación, se pueden alterar, tanto en forma positiva como negativa, algunas de las características existentes en los organismos originales. Podríamos convocar a las autoridades nacionales de alimentos a examinar los alimentos tradicionales, pero esto no siempre ocurre. En realidad, puede suceder que



9

LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM) PUEDEN DEFINIRSE COMO AQUELLOS EN LOS CUALES EL MATERIAL GENÉTICO (ADN) HA SIDO ALTERADO DE UN MODO ARTIFICIAL

guridad alimentaria para ser comercializado. Rigurosas pruebas y revisiones gubernamentales son realizados para asegurar la seguridad de los productos para lograr los beneficios de la biotecnología. De hecho, las variedades biotecnológicas son más estrictamente probadas que las variedades convencionales antes de introducirlas al mercado.

LA PERCEPCIÓN PÚBLICA ENTORNO A LOS ALIMENTOS GM

El primer alimento, modificado por la ingeniería genética, en ser producido para el consumo masivo fue el tomate Flavr Svr. Este tomate fue modificado para que resistiera mas tiempo después de madurar, evitando que produjera un enzima esencial en el proceso de senescencia. Los alimentos que posteriormente se modificaron fueron la soya transgénica, en la cual se alteró su constitución genética para ha-

cer los vegetales desarrollados mediante técnicas tradicionales de reproducción, no se valoren rigurosamente usando los métodos de la evaluación de riesgos.

Sin embargo con los alimentos GM, los consumidores y la mayoría de las autoridades nacionales, consideran que son necesarias evaluaciones específicas [7]. Con este fin se han establecido sistemas especiales para una evaluación rigurosa tanto de los organismos GM como de alimentos GM relativos tanto a la salud humana como al medio ambiente. Por lo tanto, hay una diferencia significativa en el proceso de evaluación antes de la comercialización para estos dos grupos de alimentos. Uno de los objetivos del Programa de Inocuidad Alimentaria de la OMS, es colaborar con las autoridades nacionales en la identificación de los alimentos que deben ser sometidos a evaluaciones de riesgos, incluyendo aquellos alimentos GM, y reco-

6. Largoispada DA. Generating and manipulating transgenic animals using transposable elements. *Reprod Biol Endocrinol.* 2003;1:80.

7. Monastro G, Rossi L. Transgenic foods as a tool for malnutrition elimination and their impact on agricultural systems. *Riv Biol.* 2003;9:363-84.



10

mendar las evaluaciones correctas. En la actualidad no hay ninguna evidencia científica y epidemiológica fuerte que sugiera que los alimentos genéticamente modificados sean más riesgosos para la salud humana que el resto de los alimentos⁸.

La FAO, OMS, OCDE, y la academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América han llegado a la conclusión de que el uso de técnicas de biotecnología no afecta a la seguridad de un producto. En los Estados Unidos, los alimentos desarrollados a través de la biotecnología moderna están sujetos a los mismos requisitos normativos que la FDA (la administración de alimentos y drogas de los Estados Unidos) utiliza para evaluar todos los alimentos e ingredientes de alimentos en el mercado. Estos alimentos han sido aprobados en muchos países tales como Japón, Canadá, Brasil, Argentina, Estados Unidos y la Unión Europea.

LOS RIESGOS POTENCIALES PARA LA SALUD HUMANA DE LOS ALIMENTOS GM

En la valoración de inocuidad de los alimentos genéticamente modificados generalmente se investigan: (a) los efectos directos sobre la salud (la toxicidad), (b) las tendencias a provocar una reacción alérgica (la alergenicidad), (c) los componentes específicos con sospecha de tener propiedades nutricionales o tóxicas; (d) la estabilidad del gen insertado, (e) los efectos nutricionales asociados con la modificación genética; y (f) cualquier efecto no deseado que podría producirse por la inserción de genes⁹.

Si bien las discusiones teóricas han abarcado una amplia gama de aspectos, los tres temas de mayor debate son las tendencias a provocar una reacción alérgica (alergenicidad), la transferencia de genes y el cruzamiento lejano (outcrossing). *Alergenicidad.* Por una cuestión de principios, se desalienta la transferencia de ge-

8. Azevedo JL, Araujo WL. Genetically modified crops: environmental and human health concerns. *Mutat Res.* 2003;544:223-33.

9. Meningaud JP, Moutel G, Hervé C. Ethical acceptability, health policy and foods biotechnology based foods: is there a third way between the precaution principle and an overly enthusiastic dissemination of GMO? *Med Law.* 2001;20:133-41.



nes de alimentos comúnmente alérgicos a menos que pueda demostrarse que el producto proteico del gen transferido no es alérgico. Si bien, los alimentos desarrollados en forma tradicional no se evalúan generalmente en cuanto a alergenicidad, los protocolos para pruebas de alimentos GM han sido evaluados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la OMS además por grupos de investigación¹⁰. Sólo 8 alimentos son responsables del 90% de las alergias en Europa y Estados Unidos: trigo, nueces, leche, huevos, crustáceos, pescado, soja y maní. El trigo puede ser mejorado genéticamente para remover, por ejemplo, proteínas conocidas como causantes de serias reacciones alérgicas, ampliando el consumo de este alimento en personas con alergias particulares. Actualmente en Japón se está trabajando en el desarrollo de arroz genéticamente mejorado para disminuir aler-

gias¹¹. En términos generales no se han hallado efectos alérgicos en relación con los alimentos GM que se encuentran actualmente en el mercado¹².

Transferencia genética. La transferencia genética de alimentos GM a células del organismo humano o a bacterias del tracto gastrointestinal causarían preocupación si el material genético transferido afectara en forma adversa a la salud humana. Esto sería particularmente relevante si fueran a transferirse genes de resistencia a antibióticos usados para crear OGM. Si bien la probabilidad de transferencia es baja, un panel de expertos reciente de FAO/OMS ha incentivado el uso de tecnología sin genes de resistencia a antibióticos.

Outcrossing. El desplazamiento de genes de vegetales GM a cultivos convencionales, o especies silvestres relacionadas (llamado "outcrossing"), así como la combinación de cultivos provenientes de semillas convencionales con aquellos que usan semillas GM, puede tener un efecto indirecto sobre la inocuidad y la seguridad de los alimentos.

Este riesgo es real, como se demostró cuando aparecieron rastros de un tipo de maíz, que sólo fue aprobado para alimentación animal, en productos para consumo humano en los Estados Unidos de América. Muchos países han adoptado estrategias para reducir la combinación, incluyendo una clara separación de los campos dentro de los cuales se desarrollan cultivos GM y cultivos convencionales.

Se está discutiendo la probabilidad y los métodos para revisar los productos alimentarios GM después de la comercialización, para la vigilancia continua de la inocuidad de los productos alimentarios GM.

LA INOCUIDAD DE LOS ORGANISMOS GM

Todos los cultivos de organismos GM disponibles en el mercado internacional en la actualidad han sido diseñados con base en una de tres características básicas: (a) resistencia al daño causado por insectos, (b) resistencia a las infecciones virales y (c) tolerancia a ciertos herbicidas. Todos los genes usados para modificar cultivos en general provienen de microorganismos. Recientemente hay algunos desa-

LA GENTE
CONSIDERA QUE LOS
ALIMENTOS NO
MODIFICADOS
GENÉTICAMENTE
SON INOCUOS Y
APTOS PARA EL
CONSUMO. ESTE
CONCEPTO HA SIDO
REVALUADO EN LA
MEDIDA EN QUE SE
HA INVESTIGADO
QUE MUCHOS DE
LOS ALIMENTOS QUE
CONSUMIMOS
DIARIAMENTE
PUEDEN TENER, DE
ACUERDO CON
NUESTRO
BACKGROUND
GENÉTICO, EFECTOS
PERJUDICIALES PARA
NUESTRA SALUD.

11

10 Guerinou F. Tools for expressing foreign genes in plants. *Methods Mol Biol.* 1995;49:1-32.

11 Sien E, Skov PV, Andersen SB, Topp AM, Olesen A, Bindlev-Jensen U, Poulsen LK, Bindlev-Jensen C. A comparative study of the allergenic potency of wild-type and glyphosate-tolerant gene-modified soybean cultivars. *APMS.* 2004;112:21-8.

12 Lehrer SB, Reese G. Recombinant proteins in newly developed foods: Identification of allergenic activity. *Int Arch Allergy Immunol.* 1997; May-Jun;113(1-3):122-4.

SI BIEN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NO DEBEN SER DETENIDAS EN EL PROGRESO DE LA HUMANIDAD, SI DEBEMOS REFLEXIONAR SOBRE LAS IMPLICACIONES ÉTICAS EN EL FUTURO DE LOS ALIMENTOS GM Y SU IMPACTO SOCIAL, AMBIENTAL Y EN LA SALUD HUMANA.

12

rollos en la introducción de moduladores genéticos para el control del metabolismo celular con el fin de incrementar la concentración de una vitamina o de una proteína determinada.

Los actuales organismos GM contienen distintos tipos de genes que han sido insertados por métodos diferentes. Esto significa que cada alimento GM y su inocuidad deben ser evaluados individualmente además de que no es posible hacer afirmaciones generales sobre la inocuidad de todos ellos.

Los alimentos GM actualmente disponibles en el mercado internacional han pasado las evaluaciones de riesgo y no es probable que presenten riesgos para la salud humana. Además, no se han demostrado efectos sobre la salud humana como resultado del consumo de dichos alimentos por la población general en los países donde fueron aprobados.

El uso continuo de evaluaciones de riesgo con base en los principios del Código Alimentarius y, donde corresponda, incluyendo el control post comercialización, debe formar la base para evaluar la inocuidad de los alimentos GM. Es probable que los organismos GM en el futuro incluyan vegetales con una mayor resistencia a enfermedades o sequías, cultivos con mayores niveles de nutrientes, especies de peces con mejores características de desarrollo y vegetales o animales que produzcan proteínas farmacéuticamente importantes como las vacunas.

MARCOS REGULATORIOS PARA LOS ALIMENTOS GM

La forma en que los países han reglamentado sobre los alimentos GM es variada. En algunos, los alimentos GM no están reglamentados todavía mientras que los países que cuentan con legislación al respecto, se concentran principalmente en evaluaciones de riesgos para la salud de los consumidores^{13, 14}.

Los países que tienen disposiciones para los alimentos GM, usualmente también reglamentan los organismos genéticamente modificados en general, teniendo en cuenta además de los riesgos potenciales para la salud los efectos sobre el medio ambiente así como los temas relacionados



con el control y el comercio (como los regímenes potenciales de prueba y etiquetado). Dada la dinámica del debate sobre alimentos GM, es probable que la legislación continúe evolucionando.

En el marco del protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología del Convenio de la Diversidad Biológica se ha dejado explícita tanto la preocupación como una reglamentación marco para los organismos GM. En su artículo 11 Procedimiento para organismos vivos modificados destinados para uso directo como alimento humano o animal para procesamiento, deja claras una serie de normas que se deben aplicar tanto para el comercio de estos como su regulación por parte de los Países que suscribieron el CDB.

A nivel internacional, la respuesta a los nuevos desarrollos puede hallarse en las consultas de expertos organizadas por

13. Wei JM, Spburn PA, Lee LJ, Crevel RW. Post-market surveillance of GM foods: applicability and relevance of schemes used with pharmaceuticals and some non-GM novel foods. *Regulatory Pharmacol.* 2003;38:98-104.

14. Kestley L. Controversy over genetically modified organisms: the governing laws and regulations. *sci Assur.* 2000;8:33-6.



FAO y OMS en los años 2000 y 2001, y la labor posterior de la Fuerza de Trabajo ad hoc del Codex sobre Alimentos Derivados de Biotecnología. Este trabajo ha dado como resultado un marco mejorado y armonizado para la evaluación de riesgos de alimentos GM en general. Se han tratado cuestiones específicas como la evaluación de la alergenicidad de alimentos GM o la inocuidad de alimentos derivados de microorganismos GM.

Un informe reciente de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, centrado en plantas genéticamente modificadas para que produzcan sus propios pesticidas, sostiene que en este momento no hay de qué preocuparse a la hora de acercarse a la góndola del supermercado. Además la Administración de Drogas y Alimentos (FDA) asegura a los consumidores estadounidenses que los ali-

mentos modificados genéticamente (OGM) estaban sujetos a un riguroso proceso de regulación y que no tenían nada que temer de los productos alimenticios alterados por la vía genética.

No hay evidencia, en la actualidad, de que los alimentos genéticamente mejorados posean mayores riesgos para la salud humana que otros alimentos comúnmente consumidos. Gran parte del debate de los OGM está enfocado a los riesgos de la salud que pueden aparecer en el largo plazo o que puedan ser irreversibles. Claro, que esa clase de preguntas sólo puede ser contestadas caso por caso. Los OGM sólo son introducidos en el mercado cuando satisfacen los requerimientos regulatorios de cada país. Los consumidores en muchos países no obstante, están cuestionando si los alimentos genéticamente mejorados están etiquetados para poder obte-



14

ner información de lo que consumen y poder elegir a gusto.

La FAO ha publicado nuevas directrices para determinar si un organismo vivo modificado (OVM) es riesgoso. Alrededor de 130 países aprobaron esta norma internacional pionera para evaluar los riesgos de los OVM para las plantas. Con la creación de nuevas plantas genéticamente modificadas existe el riesgo potencial de introducir genes capaces de transformar una planta normal en una maleza. La FAO publicó estas nuevas directrices dos semanas después del lanzamiento de su informe anual "El estado de la agricultura y la alimentación 2003-2004" en el que se hace un llamamiento para que se pongan en marcha regulaciones adecuadas de bioseguridad.

EL ESTADO ACTUAL DEL DEBATE

La liberación de OGM al medio ambiente y la comercialización de alimentos

GM han ocasionado un debate público que tiene matices diferentes en diversas partes del mundo. Es posible que esta discusión continúe, probablemente en el contexto más amplio de otros usos de la biotecnología (por ejemplo, en medicina humana) y sus consecuencias para las sociedades humanas¹⁵.

A pesar de que los temas que se están debatiendo son por lo general muy similares (costos y beneficios, temas de inocuidad), el resultado del debate difiere de país en país. En temas como etiquetado y rastreabilidad de alimentos GM, como una forma de encarar las preocupaciones de los consumidores, no hay hasta la fecha ningún consenso. Sin embargo recientemente la Comisión del Códex Alimentarius, un órgano subsidiario de la OMS y de la FAO, ha aprobado finalmente los primeros principios globales para garantizar la seguridad de los alimentos genéticamente modificados, así como unas directrices

15. Will A. The future of transgenic plants in developing countries. *Cell Mol Biol (Nasy-le-grand)*. 2000;7:133-51

16. Bunn R. People's concerns about biotechnology: some problems and some solutions. *Biotechnol*. 2002;9:3-8. ©

para la producción ganadera orgánica y los niveles máximos de toxinas en ciertos alimentos. El principal objetivo de estas directrices es que los alimentos genéticamente modificados se analicen exhaustivamente para evaluar sus riesgos potenciales. Aunque existen numerosos desacuerdos entre los Gobiernos sobre las normas que deben regir la modificación genética de los organismos, este es el principio para su regulación.

De otra parte la crisis humanitaria del sur de África ha atraído la atención sobre el uso de alimentos GM como ayuda alimentaria en situaciones de emergencia. Varios gobiernos de la región expresaron su preocupación en torno de las alarmas sobre medio ambiente e inocuidad alimentaria. Si bien, se han encontrado soluciones factibles para la distribución de grano molido en algunos países, otros han restringido el uso de alimentos GM y han ob-

producción de los alimentos. Dichas evaluaciones deben ser holísticas y abarcativas y no pueden detenerse en los sistemas de evaluación reduccionista anteriormente utilizados, no coherentes, que sólo enfocaban los efectos sobre el medio ambiente o la salud humana en forma aislada.

La especie humana ha abierto la caja de Pandora de las tecnologías para la producción de OGM, afortunadamente hasta el momento los estudios sobre bioseguridad realizados en los alimentos genéticamente modificados que actualmente se consumen, no han mostrado en el corto plazo, efectos negativos o perjudiciales para la salud humana. Desafortunadamente esta evaluación es todavía muy corta para visualizar los efectos que se puedan tener a largo plazo en esta generación y en las futuras que consumirán de manera mas creciente alimentos tecnológicamente modificados.

LA COMISIÓN DEL CÓDEX ALIMENTARIUS, UN ÓRGANO SUBSIDIARIO DE LA OMS Y DE LA FAO, HA APROBADO FINALMENTE LOS PRIMEROS PRINCIPIOS GLOBALES PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS.

tenido productos que no contienen OGM.

Dependiendo de la región del mundo, las personas con frecuencia tienen actitudes diferentes hacia los alimentos. Además del valor nutricional, los alimentos frecuentemente tienen connotaciones sociales e históricas, y en algunos casos pueden tener importancia religiosa. La modificación tecnológica de los alimentos y la producción alimentaria pueden provocar una respuesta negativa entre los consumidores, especialmente en ausencia de buena comunicación sobre los esfuerzos de evaluación de riesgos y las evaluaciones de costo-beneficio.

El desarrollo de nuevos métodos moleculares basados en las ciencias "ómicas" (genómica, proteómica, metabolómica entre otras) abrirá el espacio para una nueva generación OGM. En este nuevo escenario es claro que se deberán revisar minuciosamente si las tecnologías modernas van a introducir una mejoría real en la forma de

Quisiera terminar diciendo que si bien la ciencia y la tecnología no deben ser detenidas en el progreso de la humanidad, si debemos reflexionar sobre las implicaciones éticas en el futuro de los alimentos genéticamente modificados y su impacto social, ambiental y en la salud humana. Este es un tema que tiene las dos caras de la moneda en un debate en el que si bien la ciencia y la tecnología generan conocimiento que potencialmente implica desarrollo económico, también en la otra cara existe una componente de inequidad social, ya que mas de las dos terceras partes de la población mundial requiere de mejorar su estado nutricional a costos bajos en un mundo que paulatinamente será dominado por los alimentos producidos tecnológicamente y cuyos costos de adquisición serán, en la mayoría de los casos, demasiado elevados para ser adquiridos por los países en desarrollo. ♦

ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

Cambio técnico y evaluación de su introducción en el sector agrícola

Se señalan parámetros generales, basados en trabajos internacionales, de los elementos que debería contemplar un estudio de factibilidad y de impacto socioeconómico de la incorporación de los OGMs para uso agrícola, al aparato productivo colombiano.

16

Juan Carlos Rodríguez Cárdenas
Ángela Toos Vásquez Uriago
Economista. Candidatos a Mg
en Economía con énfasis en
Industria y Tecnología.
Consultores Programa Tecno -
Cambio 2000 -
Investigadores del Estudio
Prospección Colombia un país
por Construir
Universidad Nacional de
Colombia.

En el mundo se observan mega tendencias originadas desde el siglo pasado, que vislumbran tener una importancia creciente y significativa en las próximas décadas. Una de ellas es la revolución del conocimiento que ha llevado a expresar que se está en la sociedad del conocimiento, representada por una importancia fundamental de la ciencia y su estrecha relación con el crecimiento acelerado y constante de las tecnologías.

Otra mega tendencia es la globalización del mundo, caracterizada porque las barreras fronterizas entre regiones y países tienden a desaparecer. Su principal adalid es la globalización económica, que a nivel productivo tiene su gran bastión en la competitividad global –se compite con el mundo, bajo estándares internacionales–. La capacidad de un país, región o empresa para crear, mantener e incrementar espacios en los mercados, conservando una rentabilidad, surge de las ventajas competitivas (no imitables en el corto plazo) desarrolladas y potenciadas a través de la innovación tecnológica.

Además, el aparato productivo está sufriendo una reestructuración. Los bienes y servicios producidos tienden a ser intensivos en conocimiento, la tecnología se constituye en un factor clave de producción explícito y los procesos de innovación continúa son un requisito; se busca la satisfac-

ción de las demandas sociales – cada vez más particulares – con criterios de eficiencia en productividad, bajo costo, oportunidad y calidad.

En este marco, científicos sociales, han defendido la idea que el mundo se encuentra en el inicio de un nuevo paradigma tecnológico – económico. Es decir, una nueva estructura económica y social conducida por una revolución tecnológica, en la cual una tecnología se incorpora paulatinamente a todos los procesos productivos como factor clave hasta generalizar su uso globalmente. Según ellos, el actual paradigma generado por la revolución tecnológica de la información será reemplazado, por el ya vislumbrado, de la biotecnología.¹

Bajo esta perspectiva, la biotecnología se incorporará como tecnología clave, tarde o temprano, a los procesos productivos mundiales. Frente a dicha realidad, una sociedad no debe abstraerse de la discusión científica sobre el tema, ni del análisis de la viabilidad de incorporación de la nueva tecnología en su aparato productivo. Por el contrario, la biotecnología como base del paradigma emergente brinda múltiples oportunidades, especialmente para los países en vía de desarrollo, pues su pronto dominio podría incluso romper con el orden mundial establecido actualmente.²

La posibilidad de insertarse propositivamente a este nuevo esquema mundial

1. Freeman, G. and C. Pérez. 1988. "Structural change and adjustment: business cycles and investment behaviour" en G. Dosi, et al., *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers, Londres y Nueva York.
2. Pérez, C. 2000. "El cambio tecnológico y la oportunidad de desarrollo como objetivo móvil: Mesa Redonda de Alto Nivel sobre Comercio y Desarrollo: Orientaciones para el siglo XXI en Bogotá."
3. Franzen, A. and K. King. 1984. *Technological Capability in the Third World*. MacMillan Press, Hong Kong.



requiere el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas nativas sobre el tema,⁵ que permitan hacer la evaluación de la tecnología, realizar desarrollos endógenos de ésta y adaptarla de acuerdo al medio regional y nacional. Lo anterior parte de una decisión estratégica en el presente que requiere invertir significativos recursos económicos y humanos con una tasa de retorno esperada muy alta en el futuro.

Un paso indispensable consiste en realizar una evaluación cuidadosa, caso por caso y colegiada, de la factibilidad del uso de la biotecnología en los campos de la producción en que se estime pertinente, y hacer un análisis de los impactos sociales, económicos, políticos, culturales y ambientales que esa implementación traería sobre la sociedad, vista a nivel micro, meso y macro.

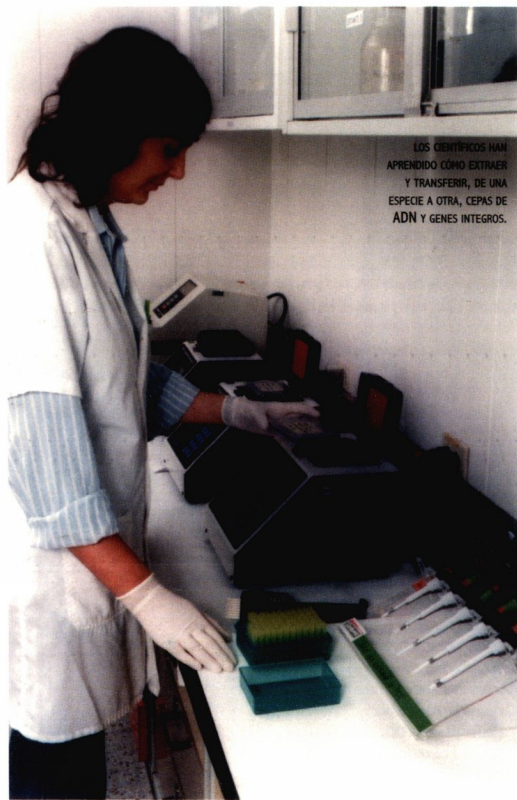
No debe olvidarse que por ser una tecnología nueva, se presenta un grado de resistencia social a su aplicación, por lo cual su implementación requiere de un proceso de socialización y popularización, basado necesariamente en la divulgación de información recolectada en estudios nacionales objetivos, completos y transparentes. Esto

en la búsqueda de generar aceptación. Se trata de un proceso de cambio institucional⁴ acorde al nuevo paradigma.

Este artículo señala, a manera de caso, unos parámetros generales (basado en desarrollos, estudios y ejercicios que se vienen adelantando internacionalmente) de los elementos que debería contemplar un estudio de factibilidad y de impacto socioeconómico de la incorporación de una biotecnología específica, los organismos genéticamente modificados –OGMs–, para uso agrícola, al aparato productivo colombiano.

En la primera sesión se presenta un recuento de la importancia creciente de los OGMs agrícolas en el mundo, incluyendo los países en vías de desarrollo; continúa con la presentación de los beneficios esperados de esta tecnología y de una serie de alertas que se han detectado hasta el momento tiene la introducción de OGMs en el sector agrícola; por último, se plantean algunas variables e indicadores que deben tenerse en cuenta para estudios de factibilidad e impacto de la introducción de biotecnología moderna al aparato productivo nacional.

⁴ Entendiendo instituciones, no como organizaciones, sino como los comportamientos habitados que se siguen y están interiorizados en una unidad social, y que definen el tipo de interacciones sociales e influyen en los deseos, percepciones e elecciones de los individuos (HODGSON, G. 1999. "Institutional Economics: Surveying The Old and the New". Facultad de Ciencias Económicas, Doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia).



LOS CIENTÍFICOS HAN APRENDIDO COMO EXTRAER Y TRANSFERIR, DE UNA ESPECIE A OTRA, CEPAS DE ADN Y GENES INTEGROS.

18

5. CDB, Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica y PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2003. "La prevención de los riesgos de la biotecnología y el medio ambiente. Introducción al Protocolo de Cartagena relativo al Convenio sobre la Diversidad Biológica". Francia.

6. Artunduaga, S. y J. C. Rodríguez. 2001. "Organismos vivos modificados genéticamente por las nuevas biotecnologías-OVMS: propuesta de análisis de los enfoques metodológicos para la valoración del impacto socioeconómico en su introducción, producción, uso, manejo y comercialización". CamBioTec, Fundación ordena para el desarrollo tecnológico y social-TECNOS, Colombia.

7. James, C. 2004. Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Briefs No. 31: ISAAA, Estados Unidos.

8. James, 2004.

OGMs USO AGRÍCOLA Y SU IMPORTANCIA ACTUAL

La biotecnología moderna surgió con el estudio por J. Watson, F. Crick, R. Franklin y M. Wilkins, de la estructura del ADN en 1956. Se consolidó a principio de los ochenta con el descubrimiento de la acción de las enzimas de restricción y de las ligasas que hicieron surgir la tecnología del ADN recombinante. Desde entonces, los científicos han aprendido cómo extraer y transferir, de una especie a otra, cepas de ADN y genes íntegros, que contienen las

instrucciones bioquímicas que rigen el desarrollo de un organismo⁵; dicha tecnología permite aislar, cortar y secuenciar fragmentos de ADN de un organismo, portadores de uno o varios genes que expresan características específicas e incorporarlos en el genoma de otro, independientemente de que los organismos donante y receptor pertenezcan o no a la misma especie, una barrera, que con escasas excepciones, tuvo la naturaleza durante millones de años de evolución.⁶ Los resultados de estas operaciones se denominan organismos vivos modificados o, más popularmente, organismos genéticamente modificados (OGMs).

Desde 1994, con los primeros tomates GM, se han modificado docenas de cultivos alimentarios y ha crecido permanentemente su siembra y comercialización. Durante el periodo 1996 – 2003 el área total de cultivos transgénicos creció 40 veces: de 1.7 millones de hectáreas en 1996 se pasó a 67.7 en el año 2003. De esta área los países en vías de desarrollo tienen aproximadamente una tercera parte y presentan una tendencia fuerte a continuar creciendo. En América Latina, además de Argentina, se están sembrando semillas transgénicas en México, Brasil, Uruguay, Honduras y Colombia.⁷

Actualmente, 18 países, ubicados en los 5 continentes, que representan alrededor de la mitad de la población del mundo y un poco menos de la mitad de su PIB, siembran OGMs de manera oficial. Entre ellos China, India, Indonesia – que tienen una población conjunta de, aproximadamente, 2.5 billones de personas y un Producto Interno Bruto combinado alrededor de US\$ 1.5 trillones –; Argentina, Brasil y México – con población de 300 millones y PIB de US\$ 1.5 trillones –; y Sudáfrica con 45 millones de personas y un PIB de US\$130 billones.⁸

En el año anterior, el valor comercial de los cultivos transgénicos se calculó entre US\$4.50 – US\$4.75 billones lo que representa el 15% del mercado global en cultivos protegidos y el 13% del mercado comercial global de semillas. En ese periodo seis países tuvieron 99% de la superficie cultivada con transgénicos en todo el

FOTO: ONI

mundo: Estados Unidos con 42.8 millones de hectáreas (63% del total); Argentina con 13.9 millones (21%); Canadá, 4.4 millones (6%); Brasil, 3 millones (4%); China, 2.8 millones (4%); y, Sudáfrica con 0.4 millones de hectáreas (1%). Los dos últimos con una tasa de crecimiento anual de 33%. Además, para ese año el gobierno de Brasil aprobó la siembra de cultivos y entra a formar parte del grupo de los países que más área tienen cultivada.⁹

Los principales cultivos de OGMs son: la soja GM que ocupa el 61% del total de cultivos transgénicos; el maíz transgénico que equivale a un 23%, el algodón modificado genéticamente que llega al 11%; y la canola GM con el 5% del área total.

La importancia de estos cultivos transgénicos en relación a los cultivos con tecnologías tradicionales es significativa. La soja transgénica ocupa actualmente 41,4 millones de hectáreas, que representan el



ACTUALMENTE 18 PAÍSES, UBICADOS EN LOS 5 CONTINENTES, QUE REPRESENTAN ALREDEDOR DE LA MITAD DE LA POBLACIÓN MUNDIAL, SIEMBRAN OGMs DE MANERA OFICIAL

19

55% de la soja cultivada mundialmente. El maíz modificado genéticamente tiene un total de 15,5 millones de hectáreas sembradas en todo el mundo, 11 por ciento de la superficie cultivada de este producto. El cultivo de algodón GM llega a los 7,2 millones de hectáreas, que es el 21 por ciento de la superficie sembrada de algodón. Por último la canola GM, que alcanza 3,6 millones de hectáreas, equivale al 16 por ciento de la superficie total cultivada.¹⁰

EXPECTATIVAS FRENTE A LOS OGMs EN EL SECTOR AGRÍCOLA

Actualmente, se espera que la biotecnología agrícola contribuya, especialmente en los países en vía de desarrollo, a:

- Garantizar la seguridad alimentaria¹¹, a través del aumento de la productividad en los cultivos y la posibilidad de uso de tierras actualmente no cultivables.

- Tener un manejo más amigable del medio ambiente, se trata de aumentar la producción agrícola sin incurrir en la ampliación de la frontera agrícola¹², y haciendo

un uso sostenible de la tierra, frenando los procesos de desertificación y salinización¹³. Igualmente conservar la biodiversidad.

- Disminuir los niveles de pobreza¹⁴, a través del desarrollo agrícola, por aumento en la competitividad de los productos agrícolas de los países en vías de desarrollo en los mercados mundiales. Y también, unido al primer punto, por mejoramiento del estatus nutricional de los habitantes.

De otra parte, existe una serie de alertas sobre los posibles efectos negativos del rápido avance de la biotecnología moderna en el sector agrícola en los países en desarrollo:

- Efectos relacionados con la bioseguridad. Los posibles riesgos de la liberación de OGMs sobre el medio ambiente pueden ser mayores en los países en desarrollo, debido a que la aplicación y la vigilancia de los reglamentos en materia de bioseguridad (Protocolo de Cartagena) son menos rigurosas que en los países desarrollados por tener baja capacidad de presupuesto y de infraestructura.¹⁵

9. James, 2004

10. James, 2004

11. La agricultura debe alimentar a una población en constante crecimiento, se estima alcanzar 8.000 millones para el año 2020, de los cuales 6.700 millones estarán en países en vías de desarrollo. Solamente haciendo la proyección de la demanda mundial para cereales se estima un déficit para el año de 2025 de 805 millones de toneladas, de las cuales 126 serán para los países desarrollados y 679 para los países en vías de desarrollo (FAO, 1999: *Biosecurity Issues Related to Biotechnologies for Sustainable Agriculture and Food Security*, Roma).

12. En los últimos 14 años, Latinoamérica y el Caribe, ha incrementado en un 2% su frontera agrícola, esta expansión tiene un costo ambiental muy alto con la actual tecnología. (Lizquierdo, 2001).

13. En el año 2000 las tierras con desertificación y salinización, en Latinoamérica y el Caribe, eran aproximadamente 300.000 ha. Con la tecnología actual, se estima que ocurrirá esto para el 50% del área agrícola en el año 2050. (ZOUQUERDO, J. 2001. *Semillas, Biotecnología y Seguridad Alimentaria*, ponencia presentada en el IV Encuentro Latinoamericano de Biotecnología Vegetal, Brasil).

14. De acuerdo con la Cepal más del 50% de habitantes en América Latina están en la pobreza (CEPAL, 2003. *Panorama social de América Latina 2003*, Chile).

15. Ruane, J. y M. Zimmermann. *Coordinadores del Foro 2003. Resultados de un Foro Electrónico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, Roma.

- Efectos con respecto a la dependencia internacional. En este momento la biotecnología está dominada por el sector privado de los países desarrollados, son ellos quienes ostentan los derechos de propiedad intelectual. Así los países en desarrollo tienen una barrera a la entrada pues tendrían que pagar por estos derechos, además de la dependencia que se genera con las empresas creadoras, y la no pertinencia de estos productos ofrecidos con relación a los requerimientos locales de los sectores agrícolas.

- Efectos relacionados con el mercado. A pesar de que se están llevando a cabo cultivos y comercialización de OGMs en varios países del mundo, su aceptación no es ge-

re una transformación institucional y de infraestructura, y la realización de actividades científicas de apoyo, que permitan aprovechar de la mejor manera este potencial y controlar los efectos indeseados que su uso puede traer.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIO-ECONÓMICO

Para este análisis, el punto de partida consiste en que el productor¹⁶ busca satisfacer una necesidad, ya sea dar solución a un problema o aprovechar una oportunidad o potencial con que se cuenta. Esto define un objetivo claro que desea obtener con la implementación del OGM. Debe valorarse entonces, si la bio-



neralizada. Al momento de acceder a la producción y comercialización de un OGM se debe enfrentar la segmentación de mercado que estos productos tienen, y los costos adicionales por etiquetado en que se debe incurrir, dado que están sometidos a juicios de elección diferentes que los productos convencionales. Lo anterior representa un riesgo por las variaciones en la percepción del público que potencialmente demanda el producto.

En resumen, nuestro país no está ajeno a la problemática que se espera los OGMs contribuyan a solucionar, razón de mas para analizar su forma de implementación. Sin embargo, la solución no vendrá necesaria y solamente de la biotecnología, se requie-

tecnología contribuye de manera óptima e integral a cumplir con los requerimientos definidos, con los menores efectos negativos posibles.

Para evaluar la nueva tecnología, un insumo básico es conocer suficientemente el contexto en el cual se desarrollará la actividad productiva. Las características particulares del medio, en sus aspectos ambientales, sociales, culturales e institucionales, son determinantes en los resultados de la implementación de un OGM.

Para el caso colombiano, el contexto de la actividad agrícola está dado por aspectos como la infraestructura física e institucional; apoyos corporativos, de gremios, de asociaciones; el sistema de tenencia de la tierra; las

16. Puede tratarse de una firma, de una región o del país en general.

17. Dentro de las cuales pueden estar las tecnologías convencionales utilizadas actualmente en el sector agrícola nacional y/o otras que puedan parecer pertinentes.

CUADRO 1.

POSIBLES IMPACTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS NUEVAS EN EL SECTOR AGRÍCOLA
IMPACTO POR NIVEL

SUBSISTEMA	Nivel Micro	Nivel Meso	Nivel Macro
ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> Variación en Costos y tiempo de Producción. Cambios en Productividad. Tasa interna de retorno del cultivo. Variación en el precio del bien. Cambio en los Costos de comercialización y de almacenamiento. Costos de oportunidad del cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Movilidad de actividades económicas asociadas (oferentes de semillas, fertilizantes, fungicidas, herbicidas, entre otros). Variación de ingresos de actores involucrados en las actividades económicas asociadas. Indicador de monopolización de insumos. Quasi rentas de la tierra (por modificación de precio, tenencia y uso). 	<ul style="list-style-type: none"> Indicador de monopolización de la actividad agrícola de acuerdo con el perfil tecnológico. Costos asociados a las tecnologías por campañas publicitarias e informativas. Variación en la demanda de bienes intermedios y finales, producidos o asociados con la producción agrícola. Grado de competitividad y de inserción en los mercados nacionales e internacionales.
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en la salud humana y en la seguridad de las personas que están a cargo de la actividad productiva. Efectos en la calidad de vida y el empleo de las personas involucradas directamente en la producción. 	<ul style="list-style-type: none"> Efectos en la calidad de vida y el empleo por variaciones en la demanda de actividades asociadas. Variaciones en salud de comunidades cercanas al sitio de los cultivos. Segmentación de productos. 	<ul style="list-style-type: none"> Efectos sobre la seguridad alimentaria. Variación en el nivel de bienestar social de los consumidores asociados a los cambios en las características de los bienes agrícolas producidos. Posibles alteraciones en salud de los consumidores de los productos agrícolas obtenidos.
AMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> Valoración de los riesgos biológicos conexos a la utilización de la tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> Variación en la posible vocación – uso de la tierra. Efectos del cultivo y su tecnología sobre el agua, el suelo, el aire y la diversidad biológica. 	<ul style="list-style-type: none"> Aporte a la sostenibilidad ambiental y ecológica global.
EDUCATIVO, CULTURAL Y DEL CONOCIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> Variación en el stock de conocimiento social por nuevo conocimiento incorporado en las diferentes etapas del cultivo. Incremento en niveles de capacitación de mano de obra. Cambio en hábitos y valores de la población directamente involucrada en la producción. 	<ul style="list-style-type: none"> Variación en el stock de conocimiento por manejo de tecnología. Variación en las costumbres y valores regionales. Cambio en los hábitos alimenticios. 	<ul style="list-style-type: none"> Posibles cambios en las costumbre alimenticias nacionales.
POLÍTICO		<ul style="list-style-type: none"> Alteración en el grado de poder por variaciones en la demanda de actividades asociadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Variación en el marco político - regulatorio de la actividad agrícola.

ventajas comparativas generadas a partir de la diversidad biológica, ecológica y cultural; el conocimiento tradicional, indígena y campesino, en relación al sector agrícola; y el valor cultural de los cultivos, entre otros.

Para la posible implementación de la biotecnología en el sector agrícola es fundamental revisar y estudiar las alternativas tecnológicas¹⁷ pertinentes disponibles (o que sean susceptibles de crearse a través de un proceso de investigación y desarro-

llo), con el fin de hacer un análisis comparativo y evaluar los resultados obtenidos para cada una de ellas.

ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD.

El análisis comparativo entre tecnologías puede partir de analizar las condiciones de implementación y funcionamiento de las diferentes alternativas tecnológicas, para esto debe tenerse en cuenta en cada uno de los casos:



Los requerimientos (económicos, humanos, físicos y de tiempo) necesarios para incorporar efectivamente la tecnología en la actividad productiva.

En el caso de los OGMs agrícolas debe tenerse en cuenta que antes de hacer siembras comerciales se necesita realizar pruebas controladas de campo que pueden tardar varios años. Durante este periodo debe hacerse un seguimiento permanente por personal capacitado. Lo anterior conlleva costos de oportunidad asociados extraordinarios en relación con las otras tecnologías.

El costo, acceso y disponibilidad de los insumos necesarios para el buen funcionamiento tecnológico.

Cada tecnología tiene asociados unos suministros. En los OGMs debe contemplarse por ejemplo, el costo de la semilla genéticamente modificada, los pesticidas y/o herbicidas que requiere el cultivo, la calidad y cantidad de tierra necesaria, el tipo de mano de obra que debe involucrarse.

Las características del proceso productivo con la implementación de la tecnología, teniendo en cuenta la escala de producción a la cual inicia a ser rentable económicamente la tecnología.

La normatividad que cubija el uso de la tecnología y el costo de cumplir con estas disposiciones.

Colombia está adscrita a acuerdos internacionales para el manejo de OGMs. En el

Horvitz, S. Carrizosa y J. C. Rodríguez.
 Regulaciones de Biosseguridad en el
 Marco del Protocolo Internacional de
 Cartagena sobre la Seguridad de los
 Organismos Modificados Genéticamente.
 Organización de Estados Americanos –
 Oficina de Asesoría Técnica, División
 de Asesoría y Cooperación y el Desarrollo
 Sostenible. Bogotá, Colombia.
 2003.

marco nacional cuenta con una gran cantidad de normas que de manera directa o indirecta se relacionan con el tema de la bioseguridad¹⁸

A partir de un esquema como el anterior, se podrá establecer si la biotecnología moderna es una tecnología viable, comparativamente con otras tecnologías, para ser aplicada a una actividad productiva agrícola específica.

ANÁLISIS DE POSIBLES IMPACTOS

Un segundo elemento indispensable para la evaluación, es el análisis comparativo de los posibles impactos¹⁹ de las diferentes tecnologías sobre la sociedad en sus distintos ámbitos.

Para este caso se debe establecer cualitativa y cuantitativamente los impactos que cada una de las tecnologías alternativas, incluyendo la de los OGMs, pudiera tener sobre los diferentes subsistemas sociales (económico, social, ambiental, cultural y político), tanto a nivel micro (sitio específico donde se realice el cultivo, grupo de personas involucradas directamente con al actividad productiva), a nivel meso (región en donde se presenten impactos indirectos del cultivo), y a nivel macro (el país en general).

En el cuadro 1 se presentan a manera de ejemplo algunas de las variables e impactos, clasificados por subsistemas, que se deben medir para cada una de las tecnologías alternativas, con el fin de hacer un estudio comparativo entre ellas y concluir a partir de éste cual es la tecnología óptima para las condiciones y el contexto particular.

CONCLUSIONES

La biotecnología es un reto del mundo actual, el cual el país debe afrontar, con el fin de poder participar de los beneficios que la nueva tecnología brinda e incursionar competitivamente en los mercados y no esperar que sólo los efectos indeseados lleguen por la acción pronta de otros países.

Se debe tener en cuenta que la biotecnología, al igual que cualquier otra tecnología, por sí sola no puede resolver los graves problemas con que se enfrentan los países en vías de desarrollo y particularmente sus agricultores, es un instrumento que puede



aportar a los grandes objetivos nacionales.

Hoy en día el mundo tiene el mayor stock de conocimiento de la historia. Los debates sobre los OGMs han permitido llegar a un consenso general en el sentido de que, si bien la biotecnología moderna puede tener muchas posibilidades, se la debe desarrollar y utilizar, conociendo sus impactos y decidiendo si se asumen o no.

A partir de un análisis contrastado entre la factibilidad y los posibles impactos socioeconómicos de la introducción de un OGM al sector agrícola y la utilización de otras tecnologías alternativas, es que se podrá conocer su verdadero aporte al desarrollo socioeconómico de los países en desarrollo. ♦

ES NECESARIO EVALUAR
LOS OGM DESDE EL
PUNTO DE VISTA DE LAS
REPERCUSIONES EN LA
SEGURIDAD ALIMENTARIA
Y LA POBREZA ENTRE
OTROS ASPECTOS.

PERSPECTIVAS EN BENEFICIO DE LA TRANSGÉNESIS ANIMAL

NUEVAS TECNOLOGÍAS BASADAS EN GENES

La transferencia de genes o transgénesis en animales ofrece un enorme potencial para modificar características como la fertilidad y la resistencia a enfermedades. Esto debido a que se pueden adicionar, reemplazar o iratirar genes específicos "IN VITRO" en sus células germinales.

Claudia Forero N. Bióloga. MSc. Ph.D
Grupo de Bosquidad y Recursos Genéticos
Pecuarios
Instituto Colombiano Agropecuario
Secretaría Técnica Ejecutiva CTN-Pecuario
e-mail: claudiaforero@ica.gov.co

24

En 1953 fue descifrada la estructura del ADN; sin embargo, debieron transcurrir 30 años, para que se lograra intervenirla y modificarla efectivamente. El primer organismo secuenciado totalmente fue la levadura, en 1996. La secuencia del genoma humano se obtuvo en el 2000. En la última década ha habido una explosión de tecnologías para aislar, amplificar, secuenciar e insertar nuevo material genético, que han sido escalonadas y automatizadas para hacer posible el desciframiento rápido de genomas. Pese a que las secuencias completas de los genomas de animales domésticos están tocando nuestras puertas las nuevas tecnologías basadas en genes, para que tengan un verdadero impacto en el sector de la ganadería y la avicultura, se encuentran todavía en sus inicios.¹

En animales, la aplicación de las nuevas tecnologías está enfocada no sólo a incrementar su productividad, mejorar la resistencia a enfermedades y la calidad nutricional de los alimentos derivados de ellos, estudiar modelos de enfermedades humanas sino también a producir fármacos para tratamientos terapéuticos, obtener células, tejidos y órganos para xenotransplantes, producir proteínas en animales con fines industriales y mejorar el medio ambiente al hacer más eficiente la conversión de los alimentos y la capacidad digestiva.

La modificación genética de animales es un hecho, y quizás uno de los ejemplos más dramáticos es la inserción de la hormona de crecimiento en peces.² Aunque aún no se encuentran animales transgénicos en el mercado, la FDA (Food and Drug Administration de los Estados Unidos), está cercana en aprobar el salmón transgénico de rápido crecimiento.³

Vacunas con microorganismos modificados genéticamente, con especificidad mejorada y que permiten ser diferenciadas de las infecciones naturales en los animales, ya se encuentran en el mercado y vacunas de ADN desnudo se encuentran en avanzadas fases de aprobación.⁴

En el campo de la nutrición animal la biotecnología permite implementar la resistencia a enfermedades y a factores abióticos, así como mejorar la calidad nutricional de pastos y leguminosas.⁵ Del mismo modo, las tecnologías basadas en genes aplicadas a los microorganismos ruminales ofrecen innovadoras estrategias que hacen posible caracterizarlos a nivel molecular, estudiarlos como comunidades que interactúan en sus nichos ecológicos, utilizarlos para mejorar la capacidad nutricional y contribuir a mejorar la calidad del medio ambiente.⁶

No todos estos desarrollos van a encontrar un lugar en los sistemas de producción animal, tal vez, por razones de

1. Conright, F. P. 2003. A vision of gene-based technologies for livestock industries in the third millennium: FAO/IAE International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production of Health in Developing Countries. Book of Extended Sappes, p. 3, 4.
2. Duhamel, A. 2003. Status of genetically modified Transgenic: Research and Application. Documento elaborado por FAO/WHO Expert Consultation on Safety Assessment of Genetically Modified Animals including fish, p. 3, 4, 5.
3. Fidanis, 2003. Animal Biotechnologies: State of Art, risks or Perspectives. Documento elaborado para FAO/WHO perit Consultation on Safety Assessment of Food/Genetic from Genetically Modified Animals including fish, p. 5, 7, 12.
4. Merzouk, I. 1999. Biotechnology and animal vaccination. IFA, Bani, 3.
5. Songney, S. 2003. Transgenesis and genomics in molecular breeding of pasture grasses and legumes for forage quality and other traits. FAO/IAEA International Symposium Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal, P.63-67.
6. McRoberts, M., Swenney, C., Demman, S., Mitsumori, M., Nakazaki, 2003. The application of molecular microbial ecology tools to facilitate the development of more efficient ruminant systems and reduce adverse environmental effects of ruminant livestock in the developing world. FAO/IAE International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production of Health in Developing Countries. Book of Extended Sappes, p. 74-75.



25

costo, ética o percepción pública, además que generan preocupaciones por los nuevos riesgos que surgen de ellos, lo que ha provocado arduos debates en los que necesariamente se involucran científicos, productores de alimentos, consumidores, grupos de interés público, especialmente de protección del medio ambiente, autoridades estatales y tomadores de decisiones, entre otros.⁷ Sin embargo, representan una gran posibilidad para mejorar la salud y la productividad animal.

En Colombia el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, conciente de la importancia que tienen los avances biotecnológicos en el campo de la producción y la salud animal, pero a la vez conocedor de la necesidad de evaluar los posibles riesgos que se pueden generar para la salud humana y animal, el medio ambiente y la biodiversidad, desarrolló la normatividad nacional en la materia, con el objeto de asegurar que las decisiones relacionadas con la bioseguridad de todas las actividades con or-



FOTO DEL PRIMER ORGANISMO SECUENCIADO. LEVADURA SECUENCIADA.

ganismos modificados genéticamente (OMG) de interés pecuario, sus derivados y productos que los contengan estén fundamentadas en una comprensión cabal de las consecuencias y en un sólido fundamento científico.⁸

ANIMALES GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (TRANSGÉNICOS)

La transferencia de genes o transgénesis en animales ofrece un enorme potencial para modificar características como la fertilidad y la resistencia a enfermedades, so-

7. Kok, E. J., Jones, W. 2003. The food safety risk assessment of GM animals. Documento elaborado para FAO/WHO Expert Consultation on Safety Assessment of Foods Derived from Genetically Modified Animals including Fish, p. 2, 3.
8. Forero de Lleras C., Pastrana R. 2001. Marco Conceptual para la Normatividad en Materia de Bioseguridad Pecuaria. Imprenta Nacional de Colombia, p. 1-55.



FOTOS DIEGO CHAMORRO

**BOWOS ASTUREANDO
EN LA ASOCIACIÓN DE
LEUAEN Y PISTO
ESTELLA.**

brepasando las limitaciones del mejoramiento convencional, principalmente debido a que se pueden adicionar, reemplazar o inactivar genes específicos "in vitro" en sus células germinales (célula de un embrión, espermatozoide, oocito, blastómero o célula embrionaria troncal, CET). Estos genes pueden provenir de especies diferentes a las que se pretenden introducir.⁹

Se han desarrollado diferentes técnicas para generar animales transgénicos y la utilización de cada una de ellas depende en alto grado de la especie que se desea modificar, debido principalmente a la especificidad de sus sistemas reproductivos. (Ver recuadro)

Ninguna de las técnicas ha tenido aún un impacto significativo en los sistemas de producción animal, muchos laboratorios están produciendo ratones transgénicos para el estudio de genes y algunas universidades y compañías están realizando investigaciones para crear animales de granja modificados genéticamente con el fin de mejorar la selección genética. Quizá donde más rápido se va a obtener beneficio de la transgénesis animal sea en la producción de bio-

fármacos en leche, sangre o huevos. Sin embargo, ninguno de estos productos ha sido liberado comercialmente debido a que son sometidos a un estricto control que garantiza que su secuencia y estructura funcional sean idénticas a la de los convencionales, además deben cumplir todos los procedimientos regulatorios exigidos a las sustancias que son producidas mediante procedimientos convencionales.¹⁴

La modificación genética en animales presenta aún muchas incertidumbres que deben ser aclaradas, no solo con argumentos científicos sino involucrando aspectos éticos y de impacto socioeconómico. Por esta razón el Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos (National Research Council, NRC), reunió un grupo de 12 expertos que definieron con bases científicas las preocupaciones asociadas con la biotecnología animal y sus productos. La primera de ellas se refiere a que cualquiera de las tecnologías utilizadas para producir animales transgénicos puede generar problemas, como la posibilidad de que una secuencia de ADN de un vector usado para transferir un gen pueda escapar e integrar-

9. Hradeba, L. N. 2003. Generation and use of genetically modified farm animals. Documento elaborado para FAO/WHO Expert Consultation on Safety Assessment of Foods Derived from Genetically Modified Animals including fish, p. 4-1.
10. Ioudeb, 2003.
11. Hradeba, B. 2003. Development of genome manipulation technologies in livestock. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 15-1.
12. Hradeba, 2003.
13. Ioudeb, 2003.
14. Idem, 2003.
15. National Research Council of the National Academies (NRC). 2002. Committee on Defining Gene-Based Concerns Associated with Projects in Animal Biotechnology. Animal Biotechnology: Science-based Concerns. The National Academies Press, Washington D. C., U.S.

se en el ADN de otro organismo y generar un peligro. La segunda se relaciona con la posibilidad de que los alimentos y otros productos de la biotecnología animal, ya sean obtenidos por ingeniería genética o por clonación, sean substancialmente diferentes a los derivados de las tecnologías convencionales. La tercera y principal incertidumbre es que las nuevas tecnologías puedan ocasionar daños ambientales. La cuarta tiene que ver con la posibilidad que las nuevas tecnologías aplicadas a los animales creen problemas de salud y afecten su bienestar y la última se refiere a si los aspectos éticos y políticos de estas tecnologías emergentes han sido adecuadamente tratados.¹⁵

NUEVAS VACUNAS DE USO ANIMAL

Básicamente se han utilizado dos enfoques usando técnicas de ADN recombinante para el desarrollo de vacunas de uso animal: el primero involucra la eliminación de genes que determinan la virulencia de patógenos, para producir organismos atenuados que pueden ser usados como vacunas vivas; esta estrategia ha resultado efectiva para enfermedades virales y bacteriales pero poco productiva para el ataque de parásitos. El segundo consiste en identificar las subunidades proteicas de los patógenos que estimulan la inmunidad, teóricamente es posible clonar y expresar cualquier gen microbiano en un organismo diferente con el fin de obtener grandes cantidades, purificarlos y producir vacunas contra las enfermedades. Sin embargo, es esencial que los antígenos que se expresen sean protectivos, es decir que sean ensamblados y presentados al sistema inmune de tal forma que induzcan una respuesta inmune apropiada y de larga duración. Las vacunas recombinantes producidas con subunidades proteicas logran una respuesta inmune humoral (de anticuerpos) y requieren el uso de adyuvantes.¹⁶

Ya se encuentran en el mercado vacunas contra la garrapata *Boophilus microplus*, utilizando como antígeno la proteína Bm86 aislada del intestino de la garrapata; contra *Theileria parva*, parásito que produce la fiebre de la Costa del Este, utilizando la proteína p67 de la superficie del esporozoito y contra *Dichelobacter nodosus* que produce la enfermedad de foot rot en ovejas y cabras, entre otras.¹⁷

TÉCNICAS PARA GENERAR ANIMALES TRANSGÉNICOS

MICROINYECCIÓN PRONUCLEAR: consiste en la inyección directa de ADN en el pronúcleo de huevos fertilizados. Aunque aparentemente es una técnica simple requiere de un equipo especial y una alta destreza de la persona que la realiza. Esta técnica se adaptó para la generación de animales de granja, preferible ovinos (hormona de crecimiento), pero no es efectiva en bovinos. Se ha utilizado principalmente en la expresión de proteínas en leche con fines terapéuticos humanos y xenotransplantes. Solo permite la introducción de genes, no la eliminación de ellos, a menos que se utilicen CETs y se suprima un gen introduciendo otro por recombinación homóloga. Todas las células del animal adulto llevarán la modificación genética, desafortunadamente solo se ha logrado obtener CETs en algunas líneas permisivas de ratón. La microinyección de ADN también se puede llevar a cabo en el citoplasma de células embrionarias en especies diferentes a mamíferos, debido a que en algunos casos el pronúcleo no es visible o accesible, como por ejemplo en salmonidos e invertebrados, pero presenta como limitante que en la mayoría de los casos, el nuevo ADN no se integra y finalmente se pierde.¹⁰

TRANSFERENCIA NUCLEAR: Esta técnica se hizo famosa por el nacimiento de Dolly, aunque no fue un animal transgénico, ofrece el potencial de obtener este tipo de animales de una forma más eficiente y producir un rebaño por clonación en una sola generación. Fue la falta de métodos para llevar a cabo la eliminación de genes en ganado lo que forzó el desarrollo de esta técnica; es más eficiente que la inyección pronuclear debido a que utiliza células somáticas en cultivo. Aunque es altamente demandante, costosa y se presentan muchas pérdidas "in útero", revolucionó el área de la tecnología animal debido a que sobrepasó la falta de CETs en animales de granja. Tal vez su mayor legado va a ser el desarrollo de estrategias terapéuticas para el tratamiento de enfermedades genéticas humanas.¹¹

INSERCIÓN DE GENES POR MEDIO DE RETROVIRUS: implica la utilización de un vector retroviral para transportar el gen que se desea introducir en cultivos celulares o en tejidos somáticos de animales. Ha sido usada para modificar líneas germinales de peces, moluscos, aves y bovinos. Recientemente se ha implementado por la utilización de lentivirus (retrovirus lentos especializados). Esta técnica presenta dos ventajas excepcionales que la hacen factible para su uso en la ganadería, como son la simplicidad para introducir ADN, debido a que no requiere costosos aparatos ni personal altamente capacitado y una alta eficiencia de transferencia. Tal vez la meta más excitante que se vislumbra con ella es la ingeniería genética de las enfermedades infecciosas, en conjunto con otra herramienta emergente que es la del ARN interferente (RNAi). Investigadores del Instituto Roslin de Escocia anticipan la generación de animales transgénicos que constitutivamente expresarán vectores de RNAi como blancos específicos para la eliminación de virus y/o sus productos de transcripción.¹² También se han utilizado otras técnicas como los transposones para obtener insectos transgénicos y una muy ingeniosa que consiste en emplear el complejo esperma-anticuerpo-ADN lineal para ser usado en fertilización in vivo o in vitro dependiendo de la especie en que se aplique, resultando muy eficiente en la generación de cerdos, rumiantes y pollos transgénicos.¹³

Una nueva forma y muy prometedora de presentar al sistema inmune los antígenos de patógenos que producen enfermedades en humanos y animales, es a través de las vacunas de ADN desnudo, también llamadas vacunas de genes. En este caso se utilizan plásmidos para clonar los antígenos y enviarlos directamente a las células de los organismos

16. Morrison, W. 1999
17. Egerton, 2003 Egerton, J. E. 2003.
Gene-based vaccine development for improving animal production in developing countries. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p.39, 40.



BOVINOS
 ALIMENTÁNDOSE EN UNA
 ASOCIACIÓN DE LEUCAENA
 Y PASTO ETRILLA

para que allí se expresen y se presenten al sistema inmune de la misma forma como se realiza en una infección natural. No requieren del uso de adyuvantes e inducen respuesta inmune humoral y celular la cual es muy específica y de larga duración. Algunas de estas vacunas se encuentran en avanzados ensayos clínicos.¹⁸

GENÉTICA REVERSA CON VIRUS ANIMALES

Por medio de genética reversa, los virus animales de ARN de cadena negativa permiten la generación de virus recombinantes totalmente elaborados por clones de ADN complementario, ADNc. A este grupo pertenecen diversos virus encapsulados que afectan tanto humanos como animales, los cuales varían ampliamente en su morfología, su estructura genética y sus interacciones con el hospedero. Muchos virus de importancia animal como rabia, rinderpest, estomatitis vesicular, distemper canino, parainfluenza bovina y Newcastle, entre otros, han sido manipulados genéticamente con el fin de estu-

diarlos y obtener vacunas mejoradas. La genética reversa permite adicionar o eliminar uno o varios aminoácidos atenuado o eliminando la patogenicidad viral. Adicionalmente, la habilidad de manipular virus animales tiene importantes aplicaciones en el diseño de "Vacunas Marcadoras" que pueden ser positivas o negativas; en el primer caso, se adiciona una secuencia que posteriormente expresa una proteína que puede ser identificada por técnicas serológicas y en el segundo se elimina una secuencia conservada. De esta forma se pueden diferenciar fácilmente animales vacunados de infectados, lo cual es de gran importancia en estudios epidemiológicos y en programas de erradicación de enfermedades.¹⁹

TECNOLOGÍAS BASADAS EN GENES APLICADAS AL ESTUDIO DE MICROORGANISMOS DEL RUMEN

Es indudable el papel que juegan los microorganismos gastrointestinales en las funciones fisiológicas e inmunológicas del hospedero animal. Durante la evolución la aso-

18. Srivastava, I. K., Liu, M.A. 2003. Gene Vaccines. *Ann Intern. Med.* 138:550-559.
 19. Mebatián, T. 2003. Reverse genetics with animal viruses. *FAD/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production of Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses.* p. 45, 46.

LA MODIFICACIÓN GENÉTICA EN ANIMALES PRESENTA AÚN MUCHAS INCERTIDUMBRES QUE DEBEN SER AC...



FOTO ELIZABETH MARTÍN MARTÍNEZ

29

BOVINOS RAZA
HARTON DEL VALLE

ciación de los microbios con los tejidos del tracto gastrointestinal de los animales ha resultado en una relación balanceada, dinámica, compleja y muy variada. De hecho se ha considerado la población microbiana del tracto digestivo como el órgano metabólico más activo, rápido y renovable. El conocimiento actual de la diversidad microbiana se ha logrado a través de cultivos anaerobios, caracterización fenotípica y bioquímica. Lo anterior, limita el estudio de los ecosistemas microbianos, debido a que los ecólogos no pueden hacer una verdadera clasificación filogenética. Las técnicas moleculares superan estas limitaciones, porque permiten realizar comparaciones de las secuencias de sus ácidos nucleicos para caracterizarlos genotípicamente, predecir sus funciones y las relaciones evolutivas, debido a que se realiza un análisis de las comunidades de la población microbiana y no de cultivos aislados. Lo anterior ha dado lugar a la ecología molecular microbiana, también denominada ecogenómica microbiana.²⁰

Existen diversas técnicas que han revolucionado el estudio de los microorganismos, pero indudablemente la reacción en cadena de la polimerasa PCR, por su rapidez y precisión en la detección de numerosos patógenos es la que mayor avance ha permitido. Muchos desarrollos adicionales, basados en los principios básicos de PCR han sido descritos: RT-PCR, NABDA, RAPID, AFLP, LCR, PCR ELISA, SDA, TMA, inmunocaptura PCR, PCR en tiempo real y la lista continua. Los microarreglos que permiten el uso de secuencias totales de ADNc para realizar un análisis de la expresión de genes, hacen posible establecer comparaciones de comunidades microbianas o de sus interacciones en diferentes ambientes, analizar microorganismos modificados genéticamente con sus contrapartes convencionales y determinar transferencia horizontal de genes, entre otros. En el futuro cercano, la nanotecnología promete contribuciones impactantes proveyendo marcadores más ver-

20. Mackie, R., Conn, I. 2003. Application of gene-based technologies directed at commensal gut bacteria to solve animal productivity constraints in developing countries. FAO/IAEA International Symposium on Applications of Gene-Based Technologies for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses, p. 35-36.

ON ARGUMENTOS CIENTÍFICOS SINO INVOLUCRANDO ASPECTOS ÉTICOS Y DE IMPACTO SOCIOECONÓMICO.



sátiles como las nanopartículas magnéticas o de oro y los nanosensores y nanoarreglos, los cuales son mil veces más pequeños que los microarreglos y millones de veces más densos.²¹

Mejorar la degradación de la fibra de las plantas o pared celular, es una de las prioridades para los criadores de ganado, razón por la que se están secuenciando bacterias fibrolíticas ruminales. Se han completado las secuencias de *Fibrobacter succinogenes* y de *Ruminococcus albus*, en tanto que la de *Prevotella ruminicola* debe ser completada durante el 2004. El genoma de *F. succinogenes* ha revelado que existen muchos más genes que codifican para endoglucanasas y celudextrinasas que aquellos que habían sido aislados y clonados en *E. coli*. En relación con las celulosas se ha descubierto que sólo un pequeño porcentaje, aproximadamente 25%, había sido previamente identificado.²²

Los ruminantes son una de las mayores fuentes de metano en el mundo, gas que es producido durante la digestión y liberado al medio ambiente. El 23% de las emisiones globales que contribuyen a producir el efecto invernadero están constituidas por metano y de éstas 73% es producido por los rumiantes. Se ha determinado que más de la mitad de la población ganadera está en países en desarrollo (Asia, África, América latina y China), población que tiende a aumentar por la necesidad de productos lácteos y cárnicos. Se prevé que en el 2020 se va a duplicar la emisión de este

gas, adicionalmente la calidad de los forrajes de los países en desarrollo es muy baja y esto conlleva a una mayor cantidad de emisión de metano por unidad de leche y carne producida. La excreción de metano del rumen puede representar pérdidas entre 8 y 10% de la energía ingerida, dependiendo del tipo de dieta. Por lo tanto, el desafío es desarrollar estrategias que permitan reducir la liberación de metano y aumentar la eficiencia de la producción, inhibiendo metanógenos, vacunando contra metanógenos y aumentando la síntesis microbiana del rumen.²³ En Colombia el Laboratorio de Microbiología Molecular, del Programa de Fisiología y Nutrición Animal de Corpoica está incursionado en esta prometedora área, a través del proyecto mundial liderado por la Agencia Internacional de Energía Atómica.²⁴

TRANSGÉNESIS Y GENÓMICA MOLECULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE PASTOS Y LEGUMINOSAS

Se ha logrado un gran avance en el establecimiento de metodologías moleculares para la mejora de pastos y leguminosas, los vegetales más utilizados en la nutrición animal, entre las que figuran, la genómica de plantas, xenogenómica, simbiogenómica y microarreglos para fenotipificar molecularmente.

En transgénesis de pastos, se están llevando a cabo numerosas investigaciones para determinar rutas metabólicas biosintéticas complejas, con el fin de mejorar la calidad del forraje en relación con el contenido de lignina, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a estrés abióticos y se está manipulando su crecimiento y desarrollo. El mejoramiento genético basado en transgénesis puede sobrepasar limitaciones en la calidad del forraje, tales como contenido de carbohidratos solubles en agua, contenido de proteína, metabolitos secundarios alcaloides, modificación del contenido de lignina para mejorar la digestibilidad de la materia seca, manipulación de la síntesis de taninos para desarrollar plantas libres y plantas con un contenido mayor de aminoácidos esenciales, entre otros.

Por medio de simbiogenómica se están realizando estudios de las interacciones planta-patógeno y de la simbiosis de legu-

221. Viponi, L., Kara, P. 2003. Current and future developments in nucleic acid-based diagnostics. IAD/IEA International Symposium in Association of Gene-Based Technology for Improving Animal Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses, 1, 43, 44.
222. Ibarra, y Nelson, 2003.
223. McCreary Colaboradores, 2003.
224. IEA-794. Proyecto 03.10.24. Development of a rumen molecular techniques for predicting and enhancing productivity. Animal Production & Health FAO/IEA Newsletter, 39 p. 16
225. Sjaungberg, 2003.
226. Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 135 de octubre 23 de 2001. <http://www.ica.gov.co>
227. Instituto Colombiano Agropecuario. Acuerdo de trabajo Directiva 0004 de abril 5 de 2002. <http://www.ica.gov.co>
228. Ibarra, J., Martínez, G., Ariza, E. 2004. E Evaluación la variabilidad genética en el ganado crio colombiano mediante microsatélites y AIN mitocondrial. Revista FICAD (en proceso de publicación).
229. Anguila, J. D., Rincón, M. A., Arbeláez, G. G., Ruz, S. 2003. PRRS Virus in Colombia. En PPRC: compendium. Second Edition.
V. Veterinary Diagnostic Laboratory College of Veterinary Medicine Iowa State University
A. Ames, Iowa. 73/232.
330. Josselyn, Corredor J., Quiñones G., Alzam D., Vega P., Cárdenas G. 2003.

minosas-bacterias fijadoras de nitrógeno, leguminosas-mycorritzas y de pastos-endófitas.

La xenogenómica que se relaciona con la investigación genómica de plantas de especies exóticas, incluye el descubrimiento de genes ESTs (expressed sequence tags), EST-microarreglos y genómica prospectiva. Con esta nueva disciplina se ha abordado el estudio de pastos exóticos en Australia que resisten suelos secos, salinos y de baja fertilidad.²⁵

NORMATIVIDAD COLOMBIANA RELACIONADA CON ORGANISMOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE DE INTERÉS PECUARIO

El Instituto Colombiano Agropecuario como entidad estatal, responsable de la protección a la producción agropecuaria nacional, reglamentó, por medio de la Resolución 2935 de 2001, los procedimientos de bioseguridad para la introducción, producción, liberación, comercialización, investigación, desarrollo biológico, control de calidad, transporte y almacenamiento de organismos modificados genéticamente, sus derivados y productos que los contengan de interés en salud y producción pecuaria.

El propósito de la Resolución es prevenir, minimizar o evitar los posibles riesgos (efectos adversos o no deseados) que las actividades o la utilización de los OMG de interés en salud y producción pecuaria puedan tener sobre la salud humana, animal, el medio ambiente, la biodiversidad, la producción y la productividad agropecuaria. En general, la resolución dispone que todas las personas naturales o jurídicas que se dediquen a cualquiera de las actividades relacionadas con OMG de interés en salud y producción pecuaria, se deben registrar ante el ICA; establece el procedimiento pa-

ra realizar la evaluación de riesgos, la cual se lleva a cabo con base en la información que suministra el solicitante, utilizando la metodología caso a caso; garantiza el tratamiento confidencial a la información que lo requiera y establece las infracciones y sanciones en el caso de su no cumplimiento.²⁶

El Instituto es asesorado por el Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad Pecuaria, CTN Pecuaria, para la toma de decisiones relacionadas con la materia. Este órgano está conformado por trece miembros que representan los sectores público, privado y académico del ámbito pecuario nacional. A la fecha, se han realizado eva-

luaciones de bioseguridad de proyectos de investigación relacionados con vacunas de ADN, y la aprobación de torta de algodón con la tecnología Bollgard® para consumo animal.²⁷

AVANCES COLOMBIANOS EN LA MATERIA

Además del proyecto mencionado anteriormente, en el país se están llevando a cabo estudios de diversidad genética y de resistencia a enfermedades en ganados criollos colombianos usando marcadores moleculares;²⁸ se está incurriendo en la clonación de razas criollas en peligro de extinción: en el campo de vacunas de ADN se están llevando a cabo investigaciones relacionadas con fiebre aftosa y con la garrapata *Boophilus microplus* y se están caracterizando a nivel molecular algunos patógenos animales con fines vacunales y para estudios epidemiológicos.²⁹⁻³⁰ ◆

Agradecimientos a: A la Dra. Melba Hoyos y al Dr. Fernando Rodríguez por la juiciosa lectura y comentarios al artículo.

Production and Health in Developing Countries. Book of Extended Synopses. p. 63-67.

GLOSARIO

TECNOLOGÍA DE ADN RECOMBINANTE: conjunto de técnicas que permiten la manipulación in vitro del ácido desoxirribonucleico, actualmente se pueden cortar fragmentos de ADN, clonarlos, amplificarlos e insertarlos en organismos diferentes de donde fueron tomados inicialmente.

ADYUVANTE: sustancia que administrada con un antígeno modifica o aumenta la respuesta inmunológica del hospedero.

RNA INTERFERENTE (RNAi): Fragmento Ácido Ribonucleico que bloquea a RNA mensajeros (RNAm), impidiendo que estos puedan llevar el mensaje codificado del ADN a los ribosomas donde se sintetizan las proteínas. Pueden bloquear la expresión de proteínas no deseables.

Genes ESTs (Expressed Sequence Tags): Son pequeñas fracciones de ADN (usualmente de 200 a 500 nucleótidos), que son obtenidas por secuenciación de un extremo o de ambos extremos de un gene expresado en un organismo y que son utilizadas como un "anuelo" para pescar estos genes en otros organismos de interés.

Xenotransplantes: transplante de células, tejidos u órganos de animales a humanos.

MEDIO AMBIENTE Y CULTIVOS

Genéticamente modificados

Después de una década de comercialización de cultivos transgénicos, se han evidenciado y documentado científicamente beneficios ambientales como resultado de su utilización. Esto también depende del cultivo GM y de la región en donde se utilice.

32



María Susana Carrizosa P
 Bióloga, Msc. Aesora Proyecto GEF
 de Bioseguridad Instituto Alexander
 Von Humboldt.

Elizabeth Hodson de Jaramillo. Phd.
 Universidad Javeriana.
 Directora departamento de Biología,
 Coordinadora Proyecto GEF de
 Bioseguridad.

La biotecnología hoy en día ofrece un poderoso conjunto de herramientas para el mejoramiento y producción de cultivos, y tiene la posibilidad de procurar beneficios significativos tanto al consumidor como al ambiente, igualmente se considera que puede revolucionar las estrategias necesarias para conservar la biodiversidad.¹ Sin embargo, el posible impacto que el uso de sus produc-

tos pueda tener sobre los sistemas agrícolas productivos, sobre los ecosistemas naturales y sobre la salud, debe mantenerse bajo evaluación permanente, así como considerar las consecuencias, tanto positivas como negativas que sus impactos puedan ocasionar.² Las preocupaciones que giran alrededor de la aplicación de la tecnología de genes en los cultivos agrícolas involucran varias categorías que pueden



ser agrupadas en forma amplia en aspectos de seguridad del alimento, seguridad ambiental, así como implicaciones éticas, culturales y de impacto socio-económico.³

BIODIVERSIDAD, ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA

La utilización más directa e importante que se da a la biodiversidad es como fuente de alimento. La diversidad biológi-

ca vegetal es la base para el desarrollo y sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola. A pesar de que un gran número de especies de plantas son comestibles, sólo un pequeño porcentaje de estas ha sido utilizado y manipulado intensamente para la producción de alimentos de valor nutricional significativo. En forma similar, sólo un reducido número de animales se utiliza para alimentación.⁴ Después de más de 10.000 años de agricultura y del descubrimiento de unas 50.000 variedades de plantas comestibles, actualmente, sólo 15 especies de cultivos proporcionan el 90% de los alimentos del mundo. De ellos, tres—arroz, trigo y maíz—son los alimentos básicos de dos de cada tres personas.⁵ Con el fin de alimentar en forma adecuada y balanceada a una población de aproximadamente ocho mil millones de personas que se espera para el año 2025, el mundo tendrá que duplicar su producción alimentaria y mejorar la distribución de alimentos. Dado que las tierras de cultivo disponibles están disminuyendo, la mayor parte del aumento de la producción de alimentos deberá obtenerse con rendimientos más altos y no mediante la extensión de las tierras de cultivo.⁶ En las últimas décadas la agricultura se ha intensificado por incrementos en el uso de sistemas tecnificados tales como mecanización, irrigación, cultivos de alto rendimiento, y el uso de agroquímicos como fertilizantes, herbicidas y plaguicidas. Esto ha llevado a cambios radicales en la estructura, función, manejo y propósitos de los ecosistemas. Estos cambios incluyen reducciones drásticas en la biodiversidad vegetal, animal y microbiana; y remoción de energía, organismos y materiales de los agroecosistemas al retirar la cosecha. Adicionalmente hay efectos por el flujo de compuestos o residuos de los productos adicionados al cultivo hacia los ecosistemas circundantes.⁷

El efecto ecológico más importante del desarrollo agrícola es la reducción en el área de ecosistemas naturales y disminución de la variación genética en los cultivos. Cuando no hay diversidad suficiente en los cultivos, la resistencia a plagas y pre-

1. NU-Naciones Unidas. 2003. Efectos de los nuevos biotecnologías, prestando particular atención al desarrollo sostenible, incluida la seguridad alimentaria, la salud y la productividad económica. Informe del Secretario General. 58º período de Sesiones de la Asamblea General. Documento A/58/76.
2. Benbrook, C.M. 2002. A perspective on actual versus potential environmental benefits of agricultural biotechnology. Environmental Science or Saboteur? Debatting the Impacts of Genetic Engineering, February 4, San Francisco, California. <http://www.biotech-info.net>
3. Lemaux, P.G. 2001. Nudging mother nature: the promise and reality of AgBiotech for farmers. <http://ucbiotech.org/resources/biotech/ndnc/>
4. WCAC. World Conservation Monitoring Centre. 2002. Biodiversity: an overview. www.wcac.org.uk/infosev/biogen/biogen.html
5. FNUAP (Fondo de las Naciones Unidas para la Población). 2001. El estado de la población mundial: 2001. www.unfpa.org/swp/2001/espand/index.html
6. Dale P.J., B. Clarke & E.M.G. Foster. 2002. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology* 20:567-574.
7. NRC-CEI, 2002.



siones abióticas disminuye.⁸ La selección y mejoramiento que la humanidad ha realizado durante siglos en busca de mayor rendimiento y producción de sus cultivos domesticados ha llevado a una pérdida del acervo genético es decir se ha reducido el número de genes disponibles en las especies silvestres para mejoramiento. Los recursos genéticos son de particular relevancia para los pueblos y los estados, dado que implica no solamente el mantenimiento de un ambiente adecuado, sino que involucra también un contexto de aprovechamiento económico. Representa un arsenal de materia prima heredable que puede ser aprovechada por la humanidad para su bienestar y desarrollo sostenible.⁹

CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS — CGM Y MEDIO AMBIENTE

Los avances y desarrollos en manipulación genética de plantas han sido muy dinámicos en los últimos años, así como la utilización de los cultivos transgénicos. Es así como de 1.7 millones de hectáreas plantadas en cultivos comerciales transgénicos en 1996, se pasó a 67.7 millones de

hectáreas en el mundo en el año 2003. Hubo un incremento del 15% de la superficie sembrada con cultivos GM del 2002 al 2003. Estas 67.7 millones de hectáreas, fueron cultivadas por siete millones de agricultores en 18 países (11 países en desarrollo y 7 industrializados). Alrededor de un tercio (30%) del área cultivada con cultivos transgénicos —equivalente a más de 20 millones de hectáreas—, se encuentra en países en desarrollo, en los cuales el incremento de superficie sembrada es mayor que en los países desarrollados. En el 2003, seis países cultivaban el 99% del área global de cultivos transgénicos: U.S.A. el 63%; Argentina el 21%; Canadá el 6%; Brasil el 4%; China el 4%; y Sudáfrica el 1%.¹⁰

El desarrollo de variedades y el uso de cultivos genéticamente modificados han sido mucho más rápidos que la capacidad de comprenderlos o regularlos adecuadamente. Hoy se presenta la posibilidad de que los cultivos transgénicos proporcionen una nueva dimensión, en relación con los sistemas de control de plagas, enfermedades y malezas. La "primera generación" de cultivos transgénicos se dirigió principal-

8. FAO/2001.

9. FAO (Food and Agriculture Organization), 2000 | FAO and the Biosafety Protocol to the Convention on Biological Diversity. Sustainable Development Dimensions: Knowledge. Research at technology. www.fao.org

mente a la obtención de plantas con características agronómicas que les confirieran resistencias o tolerancias a algunos de los factores limitantes de producción tales como plagas y enfermedades, o que facilitaran el control de malezas. Los desarrollos actuales buscan adicionalmente, mejora en la calidad nutricional de los productos o en su calidad industrial y tolerancias a factores abióticos tales como salinidad, sequía o heladas. Es decir, la transformación genética se ha enfocado de la solución de problemas de producción, hacia calidad y manejo de los productos.¹¹ Se trata de utilizar la posibilidad de introducir o modificar genes o secuencias útiles que no se encuentran disponibles en los cultivos o variedades comerciales.

Aún se cuenta con una cantidad reducida de información científica para comprender los efectos ambientales del uso de Organismos Genéticamente Modificados (OGMs) a corto y a largo plazo. Eviden-

dos por las regulaciones de bioseguridad con que cuenta cada país.

Desde una perspectiva científica, hay la necesidad de considerar los impactos potenciales de los cultivos transgénicos dentro del contexto de los efectos ambientales ocasionados por otras prácticas y tecnologías agrícolas tradicionales. Uno de los impactos iniciales al ambiente se origina con las propias prácticas agrícolas tradicionales que incluyen el clareado y la deforestación, prácticas que se han venido aceptando durante siglos sin evaluación previa de sus consecuencias, porque hasta hace muy poco tiempo no había existido ningún tipo de conciencia de protección del medio ambiente. En este sentido la sustitución de un cultivo tradicional por uno transgénico no añadiría ningún daño adicional al medio ambiente; por el contrario, el impacto ambiental puede reducirse si con el cultivo transgénico se logra un mayor rendimiento agrícola y por lo



EL DESARROLLO DE VARIEDADES Y EL USO DE CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS HAN SIDO MUCHO MÁS RÁPIDOS QUE LA CAPACIDAD DE COMPRENDERLOS O REGULARLOS ADECUADAMENTE.

35

cia científica, tanto de laboratorio como de campo, ha permitido demostrar los beneficios ambientales potenciales y los riesgos de los productos más utilizados. Sin embargo, no se han terminado completamente las evaluaciones que consideren una serie de diferencias en geografía, clima, plagas y prácticas agrícolas, entre otros aspectos.¹² Los efectos ambientales de un cultivo transgénico dependen de las características del organismo en sí mismo, de las condiciones ambientales (ecosistema) en el cual se localice, y de la habilidad con que se maneje. Es decir, el que un cultivo transgénico afecte en forma benéfica o adversa al ambiente, depende de la naturaleza del cultivo (cuál es el cultivo), dónde se utiliza, y cómo se utiliza. Para cada situación o caso, en cada lugar, hay una respuesta diferente, dependiendo del manejo. Por lo tanto, se pueden esperar diversos efectos ambientales, algunos positivos, otros negativos. Los efectos ambientales de un OGM también se encuentran modela-

tanto se necesitará deforestar o aclarar menos terreno para producir lo mismo.

Los sistemas de introducción de variabilidad genética, tanto los convencionales (p.e. hibridación, mutagénesis), como los transgénicos, pueden ocasionar cambios en el genoma vegetal que den como resultado alteraciones no intencionales en las características de los cultivos. Se considera que los procesos transgénicos no presentan nuevas categorías de riesgo comparados con los procesos convencionales de mejoramiento de cultivos, pero que los caracteres específicos introducidos deben ser evaluados cuidadosamente.¹³ Actualmente, no se cuenta con regulaciones ambientales formales para la mayoría de cultivos convencionales, de tal manera que las normativas establecidas para los cultivos transgénicos son mucho más estrictas y rigurosas que para sus contrapartes convencionales. Es clara la necesidad de reevaluar los efectos ambientales potenciales de los cultivos mejorados en forma con-

10. James, C. 2003. Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003. ISAAA Briefs: ISAAA Inc., N.Y. www.isaaa.org
 11. Kirby, A. 1999. GM crop can help environment. <http://www.biotech-info.net>
 12. Ervin, D.E., S.S. Botte, R. Welsh, et al. 2000. Transgenic Crops: An Environmental Assessment. Wallace Center for Agricultural & Environmental Policy at Winrock International. 77p.
 13. NRC-CEI National Research Council Committee on Environmental Impacts. 2002. Environmental Effects of Transgenic Plants. National Academy Press, Washington, D.C. 320 p.

vencional. Esto lleva a un enfoque de precaución en la liberación no solo de cultivos transgénicos, sino de cualquier cultivo nuevo (cultivos exóticos), así como la introducción de cambios sustanciales en las prácticas agrícolas. Debe tenerse en cuenta que la cantidad de material genético nuevo adicionado a un ecosistema al introducir una nueva especie es considerablemente mayor que al introducir solamente un transgen. La realidad es que modificaciones genéticas, ya sean grandes o pequeñas pueden tener consecuencias ambientales importantes.

**BENEFICIOS POTENCIALES Y
ACTUALES EN EL MEDIO AMBIENTE DE LOS CGM**

Después de una década de comercialización de cultivos transgénicos, se han evidenciado y documentado científicamente beneficios ambientales como resultado de su utilización. Entre estos se encuentran, dependiendo del cultivo GM y de la región en donde se utilice, la disminución en el requerimiento del uso de

minimicen los impactos negativos de la agricultura en el ambiente. Bajo esta situación, las regulaciones para CGM buscarían fundamentalmente maximizar la productividad de cultivos, bajo la consideración de reducir el alto costo de impactos adversos sobre la biodiversidad y los ecosistemas que la agricultura convencional ha producido durante siglos.¹⁴

- Disminución en el uso de productos químicos y reducción en la contaminación ambiental

Los avances en transgénesis han permitido la obtención de cultivos resistentes a insectos (principalmente plantas Bt, o el uso de genes naturales de resistencia provenientes de otras especies); a virus (mediante la introducción de las secuencias de la cubierta proteica, secuencias anti-sentido y otras técnicas); y a hongos (utilizando diversos genes).^{15,16} En relación con el control de insectos, el uso extendido y frecuente de productos químicos para controlar plagas primarias no solo contamina el ambiente, sino que también

**AÚ SE CUENTA CON UNA CANTIDAD REDUCIDA DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA
PARA COMPRENDER LOS EFECTOS AMBIENTALES DEL USO DE ORGANISMOS
GEÉTICAMENTE MODIFICADOS –OGMS - A CORTO Y A LARGO PLAZO.**

productos químicos por resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades; en muchos casos el incremento en la diversidad de fauna; incremento en los rendimientos y calidad como resultado indirecto de la disminución de plagas y enfermedades; conservación y mejor uso del suelo; y reducción en la presión sobre ecosistemas naturales lo cual favorece la conservación de la biodiversidad. El gran reto que se debe afrontar con estas posibilidades es el manejo y utilización de los cultivos transgénicos de manera tal, que sean favorables ambientalmente, y faciliten la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Es necesario combinar y equilibrar el uso de CGM con prácticas agronómicas que favorezcan la diversidad de cultivos, promuevan la rotación de cultivos, favorezcan la fertilidad del suelo y la biodiversidad silvestre de los ecosistemas naturales de forma tal, que

afecta la presencia de otros organismos que sirven como control biológico natural y que previenen el surgimiento de plagas secundarias. Con el uso de plantas modificadas genéticamente para resistencia a insectos, se disminuye o elimina la necesidad de sistemas químicos de amplio espectro, y los sistemas naturales de control biológico tienen mayor posibilidad de suprimir poblaciones de plagas secundarias. De esta manera, se mantiene la diversidad y abundancia de presas para aves, roedores y anfibios.¹⁷ Algunas de las plantas transgénicas para resistencia a insectos (Bt) pueden presentar una ventaja ambiental sobre los productos químicos que se emplean corrientemente, porque no se esparcen indiscriminadamente y de esta manera, no afectan a los insectos beneficios (biocontroladores), ni en general, a los que se encuentran en el agroecosistema.¹⁸⁻²¹

En el caso de cultivos con resistencia

14. Dohal, 2002.
15. Lam, 2001.
16. You, K. 1999. Assessing ecological risks ofetically altered plants. www.biotech-infat
17. Dohal, 2002.
18. Kiri999
19. NR 2002. Let the facts speak for themselves: The contribution of agricultural crop biotechnology to American farming. American Farm Association, St. Louis, MO. Interim report - 16 September 2002. <http://www.tourismofbounty.org/library/prepub1502a.htm>
20. Bry PJ. 2001. Biodiversity and conservation hypertext book. School of Biological Sciences, University of California, Irvine, U.S.A. <http://darwin.bio.uci.edu/~sustain/biod65>



o tolerancia a virus, también se encuentra una reducción en el uso de plaguicidas químicos, dado que no se requiere de la aplicación de insecticidas para el control de los insectos vectores del virus. Al incrementar la población de insectos vectores, se incrementan las poblaciones de sus predadores, y como consecuencia, la presencia de organismos benéficos de control biológico en los agroecosistemas.²²

Por su parte, la utilización de CGM para resistencia a herbicidas ha mostrado una reducción en el uso de los mismos, principalmente el número de aplicaciones por cosecha, aspecto de gran impacto tanto ecológico como económico. Un estimativo para 2001 informa que los CGM redujeron en 42 millones de libras de plaguicidas y herbicidas²³ y otros estudios muestran proliferación de insectos, arañas, aves y fauna en los alrededores de los cultivos.²⁴⁻²⁶

- Protección y utilización más eficiente del suelo cultivado y, reducción en la presión del uso de suelos para la agricultura.

El incremento de los rendimientos, debido específicamente a un efecto indirecto resultado de la reducción de plagas, malezas y enfermedades, presenta beneficios adi-

cionales a la misma producción, ya que se reducen la cantidad de suelo y de agua que, de otra manera se requeriría para la producción agrícola y se reduce la presión sobre los hábitats naturales, con efectos favorables para la conservación de los ecosistemas naturales y la biodiversidad.²⁷ Reducciones en la conversión de suelos para la agricultura permiten disminuir la erosión del suelo, conservar fuentes de carbono y mejorar la calidad del agua. Por otra parte, se limita el deterioro ambiental al reducir la dependencia en productos químicos (fertilizantes, plaguicidas), se facilita la no labranza (labranza mínima), con lo cual se hace menor la pérdida de capa superior del suelo, se preserva la humedad del suelo, se reduce la escorrentía, la erosión del suelo, la polución del agua y las emisiones del efecto invernadero.²⁸⁻³⁰ Adicionalmente el desarrollo de plantas con tolerancia a factores abióticos permite la utilización de suelos que en otras condiciones no se podrían utilizar, debido a que el carácter introducido favorece la adaptabilidad de los cultivos a suelos y condiciones ambientales limitantes o extremas. Como ejemplo, entre otros, se están desarrollando plantas tolerantes a sequía

21. Wright, S. 2003. GM cotton may cut pesticides. <http://checkbiotech.org>

22. Dale et al., 2002.

23. Egerstrom, L. 2003. Some Minnesota farmers say altered seeds cut chemical use. <http://www.checkbiotech.org>

24. Arthur, C. 2003. Report finds GM crops are good for environment.

<http://www.checkbiotech.org>

25. Pidgeon, J., D., M.J. May & A.M. Dewar. 2003. GM crop management for environmental benefit. In: 7th ICABR International Conference: Public Goods and Public Policy for Agricultural Biotechnology, Ravello (Italy), June 29-July 3.

26. Green, D. 2002. GM crops could save endangered birds. <http://www.checkbiotech.org>

27. Wolfenbarger, L.L. & P.R. Pfiffer. 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science* 290:2088-2093.

28. Bryant, 2001.

29. Goldsby, J.M. 2001. The Precautionary Principle: A critical appraisal of environmental risk assessment. CATO Institute, Washington, D.C.

30. Fawcett R. & Lowery D. 2002. Conservation tillage and plant biotechnology: How new technologies can improve the environment by reducing the need to plow. Conservation Technology Information Center, Purdue University. <http://www.ctic.purdue.edu>

o salinidad, mediante incorporación de genes que aumentan tolerancia a estos factores.³¹

FACTORES DE PREOCUPACIÓN, RIESGOS Y PELIGROS POTENCIALES

Los riesgos potenciales de los cultivos transgénicos (GM) al ambiente, incluyen flujo no controlado de genes a plantas silvestres relacionadas, desarrollo de resistencias a herbicidas, insectos o virus en parientes silvestres, reducción de la diversidad genética in situ, y efectos adversos en organismos no

peligro es la posibilidad potencial de que se presente un efecto adverso como resultado de una actividad. El riesgo por su parte, es la combinación del peligro y la probabilidad de que este ocurra. Lo anterior implica que muchos peligros no representan riesgos, y que la existencia de un peligro no implica necesariamente un daño significativo resultado de la actividad, dado que el peligro puede no manifestarse.^{36,37} Los peligros se pueden agrupar en cuatro tipos: a) los asociados directa o indirectamente con la planta transgénica como un todo; b) los asociados con el movimiento del transgen en sí mismo, así como con la subsecuente expresión de este en un organismo diferente; c) los asociados con el producto del transgen fuera de la planta hacia organismos no blanco; d) los asociados con evolución de resistencia al producto por parte de las plagas blanco.³⁸

EFFECTOS ASOCIADOS DIRECTA O INDIRECTAMENTE CON LA PLANTA TRANSGÉNICA COMO UN TODO

La posibilidad de que un cultivo se convierta en maleza existe por igual para las plantas transgénicas y no transgénicas. En las evaluaciones de posible impacto de una planta transgénica, uno de los puntos fundamentales es determinar si la modificación o los genes (rasgos) introducidos pueden ocasionar que ese cultivo se convierta en más persistente (tipo maleza) en agroecosistemas o más invasivo en hábitats naturales, es decir que presente propiedades de maleza. Se sabe que los rasgos de maleza provienen de una suma de diferentes caracteres, y que la adición de un solo gen difícilmente puede ocasionar que una planta se vuelva maleza.³⁹ Debe prestarse atención especial a aquellos cultivos que presentan per se condiciones de maleza, o a aquellos en los cuales la adición de ciertos genes puede incrementar su competitividad en agroecosistemas o su invasividad en ecosistemas naturales.⁴⁰⁻⁴² Sin embargo, no es común encontrar en la naturaleza plantas de maíz, de tomate, o de otros cultivos, que se hayan asilvestrado y hayan colonizado nuevos ambientes. Ello se debe a que las condiciones favorables de crecimiento que necesitan la mayoría de las plantas cultivadas no se encuentran de manera natural fuera de los campos de cultivo. Por tanto, para



blanco, entre otros.^{32,33} Aún no se ha evaluado ni realizado monitoreo completo exhaustivo sobre los potenciales impactos ambientales o sobre las interacciones de plantas transgénicas múltiples con los ecosistemas, principalmente debido al escaso tiempo de estudio y a que las bases de estudios ecológicos sólidos requieren de períodos de tiempo prolongados, es decir, son a largo plazo.³⁴ Sin embargo, abundantes estudios científicos han encontrado en forma consistente que los riesgos ambientales asociados con una variedad de cultivo dada, son independientes de la forma o la tecnología mediante la cual se obtuvo esa variedad.³⁵ Es decir los impactos de los cultivos transgénicos son similares a los impactos ya causados por los cultivos convencionales. La diferencia consiste en la característica introducida, que es la que se analiza con mayor profundidad. En este contexto, debe recordarse que

31. ryant,001
32. Liu, W. 2001. Potential environmental risks and hazards of biotechnology. <http://www.biotech-info.net>
33. Mann, K., Y. Jozet, V. Simonsen & G. Nilsson (Eds). 1999. *Methods for Risk Assessment Transgenic Plants*. III. Ecological aspects of transgenic plants, who do we go from here? A dialogue between biotech industry and science. Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland. 260.
34. *in ed.*, 2000
35. *RC-G* 2002
36. Anonim., Tr. Glare & J.P. Nap. 2000. *The issue of genetically modified crops to environment. Part II. Overview ecological risk assessment. The Plaz Journ* 33:19-46
37. *RC-G* 2002
38. *RC-G* 2002

que una planta transgénica adquiera características de una planta silvestre y pueda generar una población ha de contar con alguna ventaja que le permita competir con las plantas que habitan ese entorno.⁴³ Con frecuencia la característica que hace a estos cultivos útiles para los humanos, reduce su habilidad para establecerse como poblaciones silvestres en cualquier agroecosistema o ecosistema silvestre sin la protección del hombre.⁴⁴ Esta improbable circunstancia ha de tenerse en cuenta como un posible riesgo cuando cada nueva planta transgénica es evaluada por los Comités de Bioseguridad. Los cultivos transgénicos utilizados hasta el momento, no muestran evidencia de haber incrementado su persistencia o su invasividad. Sin embargo, es importante considerar el tipo de cultivo, si va a ser utilizado en cercanías a centros de origen o diversificación y otras consideraciones relacionadas con el ambiente en el cual va a ser utilizado. Esta es la razón por la cual debe mante-

tical de genes de las plantas cultivadas a plantas silvestres o a malezas relacionadas, es un hecho que ha ocurrido por muchos siglos. Esto significa que los genes introducidos pueden, potencialmente, dispersarse hacia las poblaciones cercanas, involucrando la posibilidad de nuevos fenotipos.⁴⁵ Las inquietudes recientes que han surgido en relación con los cultivos transgénicos se refieren al hecho de que podría facilitar la introducción a los ecosistemas de genes que puedan conferir una mayor idoneidad o adaptabilidad (fitness) a las plantas receptoras, ya sean malezas o no, y podrían permitir que estos genes sean transferidos por las receptoras a otras plantas de ese ecosistema.⁴⁹ Se requiere de una valoración, específica para cada cultivo Y de las especies relacionadas en la proximidad del campo de cultivo, y se debe evaluar entre otros: la distancia de movimiento del polen del OGM; la sincronía de floración entre el cultivo transgénico y las especies receptoras de polen;



39

EN LAS EVALUACIONES DE POSIBLE IMPACTO DE UNA PLANTA TRANSGÉNICA, UN PUNTO FUNDAMENTAL ES DETERMINAR SI LA MODIFICACIÓN O LOS GENES INTRODUCIDOS OCASIONEN QUE ESE CULTIVO PRESENTE PROPIEDADES DE MALEZA.

nerse el estudio y evaluación de riesgo caso por caso, y paso por paso.

EFFECTOS ASOCIADOS CON EL MOVIMIENTO DEL TRANSGEN EN SI MISMO

Se presentan varios mecanismos mediante los cuales puede haber movimiento de transgen desde el sitio del CMG: mediante dispersión de semillas o de polen que permiten la transferencia vertical de genes a especies emparentadas mediante cruzamiento sexual; o por transferencia horizontal de genes (no sexual) entre organismos no relacionados, como es frecuente en el caso de bacterias y hongos.⁴⁵ La transferencia de genes entre organismos ya sea vertical u horizontal es un fenómeno de ocurrencia corriente en la naturaleza y ha facilitado los procesos de evolución y adaptación de las especies a diferentes ambientes.^{46,47} El movimiento o flujo ver-

la compatibilidad sexual entre las plantas involucradas; y la ecología de las especies receptoras.⁵⁰ Para este tipo de estudios, se hace indispensable fortalecer y profundizar en los estudios ecológicos sobre estos impactos, incluidos estudios sobre tamaño de poblaciones, dinámica de dispersión y desarrollo de metodologías que permitan cuantificar y predecir las posibles situaciones. La sola posibilidad de que este cruzamiento ocurra hace que éste sea uno de los aspectos que evalúan los Comités de Bioseguridad ante la propuesta de cultivo de una nueva planta transgénica. En relación con transferencia horizontal de transgenes, solamente ha sido documentada en condiciones experimentales artificiales, en las cuales se induce una alta presión de selección. La transferencia horizontal de genes entre plantas superiores y microorganismos del suelo y áfidios no ha sido

39. Dale et al., 2002
40. ESA. Ecological Society of America. 2001. Ecological Society of America recommends cautious approach to releasing genetically modified organisms into the environment. Potential negative impacts listed.
41. Ervin et al., 2000
42. Wolfenbarger & Pfifer, 2000
43. Traynor P.L., Frederick R. & Koch M. 2002. Biosafety and Risk Assessment in Agricultural Biotechnology (A Workbook for Technical Training). The Agricultural Biotechnology Support Project, Institute of International Agriculture, Michigan State University, USA. 142 p.
44. NRC, CEI, 2002
45. Kjellsson, G., V. Simonson & K. Arsmann (Eds.), 1997. Methods for Risk Assessment of Transgenic Plants. II. Pollination, gene-transfer and population impacts. Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland. 308 p.
46. Bryant, 2001.
47. Kjellsson et al., 1997.
48. Connor et al., 2003.
49. Snow, A.J. 2002. Transgenic crops: why gene flow matters. Nature Biotechnology 20:542.
50. Dale et al., 2002



comprobada experimentalmente. Se basa en hipótesis formuladas en base a estudios moleculares de homología de secuencias.⁵¹

EFFECTOS ASOCIADOS CON EL PRODUCTO DEL TRANSGEN EN EL MEDIO AMBIENTE

La toxicidad hacia organismos vivos, se refiere a los efectos indeseables, deletéreos, ocasionados por el OGM o sus productos, sobre organismos "amigables" o deseados en el ambiente dado. Este puede ser el caso de OGMs con características introducidas para resistencia a plagas o enfermedades.⁵² Identificar un gen de resistencia e introducirlo para expresión del producto que confiere la resistencia, exclusivamente en el tejido vegetal adecuado, de manera tal que solamente actúe en contra del insecto plaga, sin presentar posibilidad de afectos adversos en otros organismos es una labor muy complicada. Actualmente se adelantan investigaciones y desarrollos en éste sentido,

pero aún no hay, a nivel comercial, CGM con expresión del transgen en tejidos específicos. El uso de toxinas y productos tóxicos es una práctica común en la agricultura convencional, aún en el caso de usar productos naturales, algunos de estos productos pueden ser altamente tóxicos.⁵³

Uno de los estudios sobre efectos del producto del transgen en organismos no blanco que ha sido más divulgado, es el de los efectos de proteínas Bt insecticidas en las larvas de la mariposa monarca en los Estados Unidos, los resultados sugerían que el maíz Bt representaba un peligro potencial para las larvas de mariposa monarca que consumían hojas de una maleza (*Asclepias* spp.) a las que se adicionó polen de maíz Bt.⁵⁴ La publicación generó interés mundial, y como consecuencia se estableció un programa cooperativo de investigación en ese mismo año, el cual se centró en los efectos agudos y tóxicos del polen de maíz Bt, y el

51. Kjellson et al., 1997

52. Conner et al., 2003

53. Dale et al., 2002

54. Losey, J.E., L.S. Rayor & M.E. Carter.

1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399:214

LA POSIBILIDAD DE QUE UN CULTIVO SE CONVIERTA EN MALEZA EXI



grado de toxicidad de polen Bt al cual las larvas de mariposa monarca podrían estar expuestas si se alimentaran con hojas de la maleza, que se distribuye naturalmente dentro y cerca a los cultivos de maíz. Los autores del estudio publicado por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (2001) informaron que, aunque el polen Bt puede presentar efectos tóxicos en las larvas de la mariposa, en concentraciones altas, las densidades (concentraciones) de polen encontradas en condiciones de campo son muy bajas y por lo tanto, el riesgo para la mariposa monarca es insignificante.⁵⁵ En el caso de liberación del producto del transgen al ambiente, en cultivos de maíz Bt, se ha encontrado que la toxina puede ser exudada a la rizosfera a través de las raíces. Los estudios realizados muestran que esta toxina puede ser retenida por el suelo y puede mantenerse por algunos meses. Sin embargo, en estudios adelantados durante varias

estaciones en seis campos diferentes indican que la toxina no parece tener efectos consistentes sobre los organismos del suelo ni en los microorganismos "in vitro".⁵⁶

EFFECTOS ASOCIADOS CON DESARROLLO DE RESISTENCIA POR PARTE DE LAS PLAGAS BLANCO.

La aplicación de plantas transgénicas no supone, en sí mismo, ningún riesgo de generación de nuevos patógenos. El uso de plantas resistentes a patógenos o a plagas (sean transgénicas o no), así como el uso de cualquier producto fitosanitario (insecticidas químicos, productos naturales, antibióticos, fungicidas) puede favorecer el desarrollo de variantes patogénicas o de plagas que sean capaces de superar la barrera de resistencia o el efecto del tratamiento.⁵⁷ La historia del fitomejoramiento convencional ha establecido claramente que las poblaciones de plagas y patógenos pueden adaptarse rápidamente a las nuevas variedades con nuevos

55. Dale et al., 2002
56. Ammann, K. 2003. Biodiversity and Agricultural Biotechnology. A review of the impact of agricultural biotechnology on biodiversity. Botanischer Garten Bern, Switzerland. 54 p.
57. NRC-CEI, 2002

IGUAL PARA LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS Y NO TRANSGÉNICAS.



genes de resistencia. Esta evolución de resistencia por parte de las plagas, es precisamente lo que ha motivado el desarrollo de nuevos productos químicos. Los mejoradores que desarrollan nuevas variedades y tratamientos saben que las resistencias y los productos fitosanitarios no son de uso indefinido y por ello constantemente se están investigando nuevas fuentes de resistencia y desarrollando nuevos tratamientos en los cultivos.⁵⁸ La preocupación que ha surgido es por la suposición de que el uso de OMG puede presentar presiones de selección intensas en las poblaciones de plagas y patógenos, que las lleven a adaptarse al mecanismo de resistencia. La aparición de resistencia a insectos a cultivos Bt es factible, razón por la cual se utilizan diferentes estrategias que buscan reducir esta situación y retardar al máximo la aparición de resistencia por parte del insecto blanco. Las prácticas actuales

incluyen un alto nivel de expresión del gen de la toxina (Cry) complementado con la utilización de áreas de refugio. Los refugios son zonas del cultivo GM en las cuales se siembra el cultivo no modificado genéticamente. El propósito del refugio es mantener una población del insecto blanco con genes de susceptibilidad a las proteínas Cry.⁵⁹ La creciente y rápida expansión de los cultivos MG no llevaría a una producción de plagas y enfermedades resistentes más rápidamente que los cultivos convencionales. La clave de las estrategias para afrontar esta situación está definida fundamentalmente por el manejo y prácticas culturales que se utilicen, más que por el cultivo en sí mismo, ya sea convencional o transformado genéticamente. Igualmente es necesario realizar evaluaciones y proyecciones de la posibilidad de que el nicho que sea liberado por una plaga primaria, sea ocupado por

58. Connor et al., 2003

59. Connor et al., 2003

60. Doolan et al., 2002

61. AgBiOS - Agriculture & Biotechnology Strategic, Inc. 2002. Essential Bioscience™ /comprehensive source of scientific and regulatory information. CD-ROM/2nd edicion.

62. Daniell, H., 1999. Environmentally friendly approaches to genetic engineering. In *Intra Cell. Dev. Biol. Plant* 35:361-368.

63. Daniell, H., 2002. Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. *Nature Biotechol.* 20:581-586.

otra plaga herbívora, la cual podría ser más competitiva.⁶⁰ El desarrollo y evolución de sistemas de manejo integrado de plagas puede apoyar en forma importante la protección de los cultivos.

Adicional a las preocupaciones acerca de efectos en el medio ambiente de CGM anotadas en los párrafos anteriores existen otras que incluyen el incremento en el uso de productos químicos, efectos del gen introducido sobre otros genes, mayor pérdida de diversidad en las plantas de cultivo y cambios en las poblaciones de malezas, las cuales están siendo evaluadas hoy en día y en general son los mismos problemas producidos por la agricultura tradicional.

Las preocupaciones sobre los posibles impactos ambientales de los cultivos transgénicos han estimulado la búsqueda y desarrollo de nuevas alternativas para reducir estas preocupaciones. Es así como se están estudiando distintos mecanismos que van desde sistemas de manejo del cultivo:

trales, introducen rutinariamente nuevo DNA, y rasgos o características diferentes (novedosos), incluyendo proteínas y otros productos, a las plantas mejoradas. Las prácticas agrícolas convencionales afectan la biodiversidad en el campo de numerosas maneras. Muchas de estas prácticas pueden mitigarse a través del uso racional de las tecnologías disponibles conjuntamente con estrategias de manejo de cultivos.⁷⁰ Sin embargo, estas variedades se producen permanentemente, y entran al mercado sin enfrentar los problemas y cuestionamientos que tienen que resolver los cultivos obtenidos por manipulación genética.

La tecnología transgénica ofrece el potencial de incrementar la producción de alimentos, reducir el uso de herbicidas e insecticidas de amplio espectro y producir alimentos más seguros y saludables. Así mismo el uso de cultivos genéticamente modificados puede causar un impacto altamente positivo en la bio-

HASTA EL MOMENTO, NO SE ENCUENTRAN ARGUMENTOS CIENTÍFICOS CONTUNDENTES QUE DEMUESTREN QUE LOS CGM SEAN DIFERENTES DE LOS CONVENCIONALES, NO MODIFICADOS GENÉTICAMENTE.

épocas de siembra, zonas de aislamiento y barreras biológicas hasta estrategias moleculares más complejas.⁶¹⁻⁶⁸

CONCLUSIONES

Hasta el momento, no se encuentran argumentos científicos contundentes que demuestren que los CGM sean diferentes de los convencionales, no modificados genéticamente. Los impactos potenciales de los OGMs son los mismos que los de los cultivos convencionales ya conocidos: invasividad, capacidad de convertirse en malezas, toxicidad, impacto en la biodiversidad, entre otros. Sin embargo, la novedad de algunos de los productos, resultado de la manipulación genética, puede presentar tanto retos, como oportunidades adicionales de manejar cultivos dados en formas creativas, en forma particular.⁶⁹

Todos los tipos de mejoramiento vegetal, incluyendo las técnicas más ance-

trales, introducen rutinariamente nuevo DNA, y rasgos o características diferentes (novedosos), incluyendo proteínas y otros productos, a las plantas mejoradas. Las prácticas agrícolas convencionales afectan la biodiversidad en el campo de numerosas maneras. Muchas de estas prácticas pueden mitigarse a través del uso racional de las tecnologías disponibles conjuntamente con estrategias de manejo de cultivos.⁷⁰ Sin embargo, estas variedades se producen permanentemente, y entran al mercado sin enfrentar los problemas y cuestionamientos que tienen que resolver los cultivos obtenidos por manipulación genética.

La tecnología transgénica ofrece el potencial de incrementar la producción de alimentos, reducir el uso de herbicidas e insecticidas de amplio espectro y producir alimentos más seguros y saludables. Así mismo el uso de cultivos genéticamente modificados puede causar un impacto altamente positivo en la bio-

diversidad de los agroecosistemas y sus alrededores.⁷¹ Es importante recordar que el mantenimiento de la biodiversidad es un objetivo fundamental para la biotecnología, que la necesita como fuente de nuevos genes con nuevas funciones. Convenientemente utilizada, la técnica puede convertirse en el mejor aliado de la agricultura orgánica, ser ambientalmente amigables y permitir el desarrollo de una agricultura económicamente sostenible, sin embargo, han de pasar varios años de investigaciones para poder valorar comparativamente los efectos de las plantas transgénicas con respecto a los de las plantas que se cultivan actualmente.⁷² Este tipo de avances son fundamentales en un mundo en el cual los recursos naturales se encuentran amenazados y en el cual el porcentaje de hambre y malnutrición de la población es muy elevado.⁷³ ♦

64. Daniell, H., M.S. Kison & L. Allison. 2002. Milestones in chloroplast genetic engineering: an environmentally friendly era in biotechnology. *TRENDS in Plant Science*. 7:84-91

65. Eaton, D., F. van Tongeren, N. Louwars, B. Visser & I. van der Meer. 2002. Economic and policy aspects of "terminator" technology. *Biotechnology and Development Monitor*. 49:19-22. <http://esa.sdlc.edu/statement0601.htm>

66. Hare, P.D. & N.H. Chou. 2002. Excision of selectable marker genes from transgenic plants. *Nature Biotechnol.* 20:575-580.

67. NRC. CEI. 2002

68. Smyth, S., G.G. Khashourians & P.W.B. Phillips. 2002. Liabilities and economics of transgenic crops. *Nature Biotechnol.* 20:537-541.

69. Dale et al., 2002

70. Ammann, 2003

71. Ammann, 2003

72. Pajon et al., 2003

73. Conklin, A.C.S. Prokash. 2002. *Beating Hunger with Biotechnology: Economic Perspectives* (An Electronic Journal of the U.S. Department of State). 7 (2): 4p.

ESTADO ACTUAL DE LOS CULTIVOS Genéticamente modificados

A pesar del debate existente sobre cultivos genéticamente modificados (GM), en el año 2002, el área global de cultivos transgénicos continuó creciendo por sexto año consecutivo a un porcentaje más alto de 10% por año. Esto debido a los múltiples beneficios que ofrecen este tipo de cultivo.

44

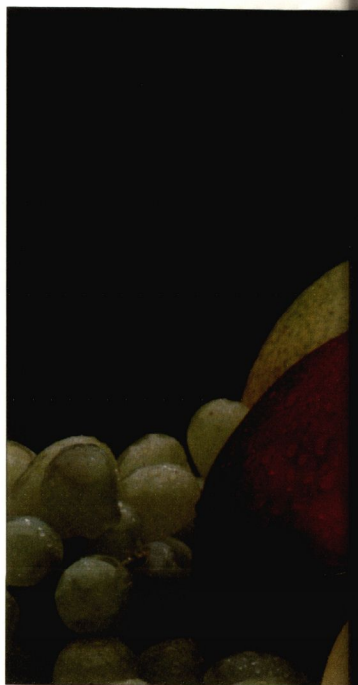
Fernando Ángel
Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia
CENICANA,
A.A. 9138, Cali, Valle,
fangel@cenicana.org

La rápida adopción de los cultivos transgénicos durante el sexto año después del inicio en 1996, refleja los múltiples beneficios que han recibido tanto los pequeños como los grandes agricultores que han sembrado cultivos transgénicos comerciales en países industrializados y en vías de desarrollo. Entre 1996 y el 2001, un total de 16 países, 10 industrializados y 6 en vías de desarrollo, contribuyeron con más de una tercera parte en el incremento del área global de estos cultivos, el cual fue de 1.7 millones de hectáreas en 1996 y fue estimado en 52.6 millones de hectáreas a finales del 2001.

La velocidad de adopción de los cultivos transgénicos durante el período 1996 – 2001 no tiene precedentes y es la más alta comparada con las nuevas tecnolo-

gías usadas actualmente. Esta rápida adopción refleja satisfacción de los cultivadores con los productos que ofrecen beneficios substanciales permitiendo un manejo más flexible del cultivo, más productividad y/o más ganancias netas por hectárea, beneficios sociales, un ambiente más limpio debido a la reducción en el uso de pesticidas convencionales, conduciendo todo esto a una agricultura más sostenible. Cada día hay más evidencia que demuestra claramente que el control de malezas e insectos mediante cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas y resistentes a insectos hace que estos cultivos requieran menos insumos y tengan menores costos de producción ofreciendo ventajas económicas sobre agricultores que usan cultivos convencionales.

A pesar del debate existente sobre cul-





tivos genéticamente modificados (GM), particularmente en países de la Unión Europea, millones de grandes y pequeños cultivadores tanto en países industrializados como en países en vías de desarrollo, continúan incrementando sus plantaciones de cultivos GM debido a los múltiples beneficios que ofrecen este tipo de cultivo. La alta velocidad de adopción es una fuerte evidencia de la confianza que generan los cultivos GM reflejando satisfacción en los cultivadores. Varios estudios recientes llevados a cabo en países industrializados y en países en vías de desarrollo, han confirmado de nuevo, que cultivadores que utilizan cultivos GM tolerantes a herbicidas y resistentes a insectos, son más eficientes en el manejo de malezas e insectos no beneficios. Cerca de cinco millones de cultivadores usaron organismos

GM en el año 2001 obteniendo múltiples beneficios que incluyen ventajas agronómicas, ambientales, sociales y económicas. En el año 2002 el área sembrada con este tipo de cultivos se incrementó en seis millones de hectáreas, contribuyendo a una producción global más sostenible tanto de alimento humano y animal como de fibra. Actualmente la población mundial es más de 6,000 millones de personas y se calcula que en el año 2050 será de 9,000 millones, época en la cual el 90% de la población total estará en Asia, África y América Latina. Actualmente, 815 millones de personas en los países en vías de desarrollo sufren malnutrición y 1,300 millones son afectados por la pobreza. Los cultivos transgénicos, cultivos GM, presentan tecnologías prometedoras y de esta forma pueden contribuir enormemente con la segu-



CUADRO 1.

ÁREA TOTAL DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS ENTRE 1996 Y 2002.

AÑO	HECTÁREAS (MILLONES)	ACRES (MILLONES)
1996	1.7	4.3
1997	11.0	27.5
1998	27.8	69.5
1999	39.9	98.6
2000	44.2	109.2
2001	52.6	130.0
2002	58.7	145.0

CUADRO 2.

ÁREA EN MILLONES DE HECTÁREAS CON CULTIVOS TRANSGÉNICOS EN LOS AÑOS 2001 Y 2002 EN PAÍSES INDUSTRIALIZADOS Y EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO.

PAÍSES	2001	%	2002	%	+/-	%
INDUSTRIALIZADOS	39.1	74	42.7	73	+3.6	+9
EN DESARROLLO	13.5	26	16.0	27	+2.5	+19
TOTAL	52.6	100	58.7	100	+6.1	+12

ricidad en la producción de fibra y en la alimentación humana y animal, contribuyendo de esta forma con el alivio de la pobreza existente.

ÁREA GLOBAL DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS EN EL AÑO 2002

En el año 2002, el área global de cultivos transgénicos continuó creciendo por sexto año consecutivo a un porcentaje más alto de 10% por año. El área global estimada de cultivos transgénicos en el año 2002 es de 58.7 millones de hectáreas equivalentes a 150 millones de acres. Esta superficie corresponde a más del 5% del área total de China (956 millones de hectáreas) o de los Estados Unidos (981 millones de hectáreas) y casi dos veces y media el área del Reino Unido (24.4 millones de hectáreas). El incremento en área de los cultivos transgénicos entre 2001 y 2002 fue de 12%, equivalente a 6.1 millones de hectáreas (Cuadro 1).

Durante el período entre el año 1996 y el año 2002, el área global de cultivos transgénicos se incrementó 35 veces, iniciando en 1996 con 1.7 millones de hectáreas hasta 58.7 millones de hectáreas en el año 2002. Este rápido incremento, refleja la creciente adopción de este tipo de cultivos por parte de los cultivadores en países industrializados y en vías de desarrollo. Durante este mismo período, el número de países usando esta tecnología se incrementó de 6 en 1996 a 9 en 1998, a 12 en 1999 y a 16 en el 2002.

DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS EN PAÍSES INDUSTRIALIZADOS Y EN VÍAS DE DESARROLLO

Los resultados indican un crecimiento sostenido desde el año 1996 del área cultivada en los países industrializados, mientras que en los países en vías de desarrollo el incremento se observó a partir del año 1999. Este crecimiento fue de 14% en 1997 a 16% en 1998, a 18% en 1999, a 24% en el 2000, 26% en el 2001 y 27% en el 2002. Además en el año 2002, más de una cuarta parte (27%) del área global (58.7 millones de hectáreas) equivalente a 16 millones de hectáreas, fueron cultivadas en países en desarrollo, donde el crecimiento en área continuó siendo grande entre el 2001 y el 2002, especialmente en Argentina, China y Sur Africa, incluyendo

a la India que por primera vez sembró 45,000 hectáreas de algodón Bt en el año 2002 (Cuadro 2). A pesar de que el crecimiento absoluto del área de cultivos GM entre los años 2001 y 2002 fue más alto en países industrializados (3.6 millones de hectáreas) que en países en vías de desarrollo (2.5 millones de hectáreas), el incremento en el porcentaje fue dos veces mayor en los países en desarrollo del sur (19%) que en los países industrializados del norte (9%).

DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS POR PAÍS.

En el año 2002, cuatro países cultivaron el 99% del área total (Cuadro 3) incrementando el área cultivada entre los años 2001 y 2002. Dos de los países son industrializados (Estados Unidos y Canadá) y dos son países en vías de desarrollo (Argentina y China). Como ha sucedido desde 1996, Estados Unidos posee también el área más extensa (66%) en el 2002. Estados Unidos posee 39 millones de hectáreas, seguido por Argentina con 13.5 millones (23%), Canadá con 3.5 millones (6%) y China con 2.1 millones de hectáreas (4%). China mostró el más alto porcentaje de crecimiento entre los años 2001 y 2002 con un incremento del 40% en sus cultivos de algodón GM resistente a insectos. Por primera vez, el área sembrada con algodón transgénico resistente a insectos ocupa más del 50% del área total de algodón sembrado en China (2.1 millones de hectáreas versus 4.1 millones de hectáreas). A pesar de la crisis económica en Argentina, el crecimiento en área de cultivos GM continuó siendo alto (14%) equivalente a 1.7 millones de hectáreas. En el caso de Estados Unidos y Canadá fue el mismo (9%). En el año 2002 el incremento en Sur Africa fue más del 20%, pasando de 0.22 millones de hectáreas en el 2001 a 0.27 millones de hectáreas en el 2002. Una de las peores sequías de las últimas décadas en Australia, hizo disminuir las plantaciones de algodón en un 50% y por consecuencia el algodón GM pasando de 0.2 millones de hectáreas en el 2001 a 0.1 millones en el 2002. De una forma similar, debido a los bajos precios internacionales del algodón, el área total el Estados Unidos decreció en 10% afectando también el área cultivada con algodón GM.

CUADRO 3.

ÁREA GLOBAL DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS EN MILLONES DE HECTÁREAS EN LOS AÑOS 2001 Y 2002.

PAÍSES	2001	%	2002	%	+/-	%
ESTADOS UNIDOS	35.7	68	39.0	66	+ 3.3	+ 9
ARGENTINA	11.8	22	13.5	23	+ 1.7	+ 14
CANADÁ	3.2	6	3.5	6	+ 0.3	+ 9
CHINA	1.5	3	2.1	4	+ 0.6	+ 40
SUR AFRICA	0.2	<1	0.3	1	+ 0.1	+ 50
AUSTRALIA	0.2	<1	0.1	<1	- 0.1	----
INDIA	----	----	<0.1	<1	<0.1	----
RUMANIA	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
ESPAÑA	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
URUGUAY	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
MÉXICO	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
BULGARIA	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
INDONESIA	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
COLOMBIA	----	----	<0.1	<1	<0.1	----
HONDURAS	----	----	<0.1	<1	----	----
ALEMANIA	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
TOTAL	52.6	100	58.7	100	+ 6.1	+ 12%

Los 16 países que cultivaron plantas GM se encuentran en la Cuadro 3 en orden descendente según al área cultivada. Entre estos 16 países, se encuentran 9 países en vías de desarrollo, 5 países industrializados y dos países de Europa del Este. En el año 2002, los cultivos transgénicos comerciales fueron cultivados en los seis continentes, América del Norte, América Latina, Asia, Europa del Este y Occidental y Africa. De los cuatro países que poseen el 99% en área, Estados Unidos tiene 66%, Argentina 23%, Canadá 6% y China 4%. El 1% restante se encuentra en los otros 12 países, siendo Sur Africa y Australia los dos países que poseen más de 100,000 hectáreas.

En los Estados Unidos hubo una ganancia de 3.3 millones de hectáreas de transgénicos en el año 2002, esto como resultado de incrementos en el área de maíz y soya, un modesto incremento en colza y un decrecimiento en el área de algodón. En Argentina como se mencionó anteriormente, a pesar de la severa crisis económica, hubo un aumento de 1.7 millones de hectáreas debido a un alto crecimiento en soya transgénica y un modesto crecimiento en maíz. En el caso de Canadá, hubo un aumento neto de 0.3 millones de hectáreas representado en aumentos en área en soya y colza manteniéndose estable el maíz.

En China el área sembrada con algodón GM incrementó en 0.6 millones de hectáreas pasando de 1.5 millones a 2.1 millones de hectáreas.

Un significativo incremento fue evidente en Sur Africa, donde el área de maíz, algodón y soya transgénicos es de 275,000 hectáreas. En Australia una fuerte sequía en el 2002 llevó a que se sembrarán solamente 125,000 hectáreas de algodón resistente a insectos contra 200,000 hectáreas existentes en el 2001. Rumania triplicó su área de soya GM a 45,000 hectáreas en el 2002 y España duplicó el área de maíz resistente a insectos llegando a tener 25,000 hectáreas en el 2002. En Alemania existe una pequeña área cultivada con maíz resistente a insectos y en Bulgaria con maíz tolerante a herbicidas. México tiene una pequeña área de soya y algodón, Uruguay posee 20,000 hectáreas de soya tolerante a herbicidas y aproximadamente 2,700 agricultores continúan cultivando algodón resistente a insectos en Indonesia. En el año 2002, hubo un incremento significativo en el número de países que cultivan transgénicos, incluyendo tres nuevos países. India que es el más grande cultivador de algodón en el mundo, 8.7 millones de hectáreas, aprobó la siembra de algodón transgénico en mayo de 2002; 54,000 cultivadores plantaron 45,000 hectáreas de algodón GM en India en el 2002.

En América Latina, Colombia también aprobó por primera vez en el año 2002, un ensayo precomercial de 2,000 hectáreas de algodón GM, previo a una aprobación comercial para el 2003. Igualmente, por primera vez en el 2002, Honduras fue el pri-

mer país de América Central que sembró un ensayo precomercial de 500 hectáreas de maíz resistente a insectos.

DISTRIBUCIÓN DE TRANSGÉNICOS POR CULTIVO.

La distribución por cultivo en el año 2002 muestra un predominio de la soya transgénica ocupando un 62% (36,5 millones de hectáreas) del área total, siendo en su totalidad soya tolerante a herbicidas. En segundo lugar se encuentra el maíz con 12.4 millones de hectáreas, posteriormente el algodón con 6.8 millones de hectáreas y colza con 3.0 millones de hectáreas (Cuadro 4). En el año 2002, la soya tolerante a herbicida incrementó en 3.2 millones de hectáreas equivalente a 10%. Un aumento de aproximadamente 1.2 millones de hectáreas en soya transgénica fue reportado en Estados Unidos mientras que en Argentina hubo un aumento de 1.7 millones de hectáreas.

Mientras que el área de maíz transgénico disminuyó en 500,000 hectáreas en el año 2001, este cultivo tuvo un incremento substancial de 2.6 millones de hectáreas en el año 2002, la mayoría en Estados Unidos (Cuadro 4). Incrementos en maíz transgénico también fueron reportados en Argentina, Sur Africa y España. En Sur Africa, el maíz amarillo resistente a insectos usado para alimento animal pasó de 160,000 hectáreas (14%) en el 2001 a 175,000 hectáreas en el 2002, lo que equivale a un 20% del total sembrado. El maíz blanco usado para alimento humano introducido en el año 2001 con 6,000 hectáreas iniciales equivalentes al 0.3% del área total incrementó 10 veces pasando a 58,000 hectáreas, equivalentes al 3% del maíz total sembrado en el 2002 (2.1 millones de hectáreas).

El área de algodón cultivado en el año 2002 en Estados Unidos fue un 10% menos que el cultivado en el 2001, tanto algodón GM como algodón no transgénico. El decrecimiento combinado de algodón GM en Estados Unidos y Australia llegó a 0.6 millones de hectáreas y fue contra restado por un incremento en área igual en China y otros países, dando como resultado la misma área de algodón GM en los años 2001 y 2002.

En el caso de colza, el área sembrada en el año 2001 de 2.7 millones de hectá-

CUADRO 4.

ÁREA GLOBAL EN MILLONES DE HECTÁREAS DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS POR CULTIVO EN LOS AÑOS 2001 Y 2002.

CULTIVO	2001	%	2002	%	+/-	%
SOYA	33.3	63	36.5	62	+ 3.2	+ 10
MAÍZ	9.8	19	12.4	21	+ 2.6	+ 27
ALGODÓN	6.8	13	6.8	12	0.0	----
COLZA	2.7	5	3.0	5	+ 0.3	+ 11
CALABAZA	<0.1	<1	<0.1	<1	(---)	----
PAPAYA	<0.1	<1	<0.1	<1	(---)	----
TOTAL	52.6	100	58.7	100	+6.1	+19

reas pasó a 3.0 millones en el 2002, con un incremento igualmente compartido entre Canadá y Estados Unidos. En Canadá 2.59 millones de hectáreas de un total de 4.0 millones en el 2002 son ocupadas por colza GM tolerante a herbicidas con un 20% adicional de colza mutagénica tolerante a herbicida dejando solamente un 16% del total a la colza convencional.

DISTRIBUCIÓN DE TRANSGÉNICOS POR CARACTERÍSTICA.

Durante el período comprendido entre 1996 y 2002, la característica dominante ha sido tolerancia a herbicidas, seguida por resistencia a insectos. En el año 2002, la tolerancia a herbicidas se concentró en soya maíz y algodón ocupando el 75% de las 58.7 millones de hectáreas (Cuadro 5), seguida por resistencia a insectos con 10.1 millones de hectáreas equivalente al 17%, encontrándose después las dos características juntas principalmente en algodón y maíz ocupando un

CUADRO 5.

ÁREA EN MILLONES DE HECTÁREAS DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS POR CARACTERÍSTICA EN LOS AÑOS 2001 Y 2002.

CARACTERÍSTICA	2001	%	2002	%	+/-	%
TOLERANCIA A HERBICIDA	40.6	77	44.2	75	+ 3.6	+ 9
RESISTENCIA A INSECTOS (Bt)	7.8	15	10.1	17	+ 2.3	+ 29
Bt/TOLERANCIA A HERBICIDA	4.2	8	4.4	8	+ 0.2	+ 5
RESISTENCIA A VIRUS/OTROS	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	----
TOTAL	52.6	100	58.7	100	+ 6.1	+ 12

CUADRO 6.

CULTIVOS TRANSGÉNICOS MÁS COMUNES EN EL AÑO 2002.

CULTIVO	MILLONES DE HECTÁREAS	% TRANSGÉNICOS
SOYA TOLERANTE A HERBICIDA	36.5	62
MAÍZ Bt	7.7	13
COLZA TOLERANTE A HERBICIDA	3.0	5
MAÍZ TOLERANTE A HERBICIDA	2.5	4
ALGODÓN Bt	2.4	4
ALGODÓN TOLERANTE A HERBICIDA	2.2	4
ALGODÓN Bt/ TOLERANTE A HERBICIDA	2.2	4
MAÍZ Bt/TOLERANTE A HERBICIDA	2.2	4
TOTAL	58.7	100

DURANTE EL PERÍODO COMPRENDIDO ENTRE 1996 Y 2002, LA CARACTERÍSTICA DOMINANTE HA SIDO TOLERANCIA A HERBICIDAS, SEGUIDA POR RESISTENCIA A INSECTOS.

8% del área total de transgénicos. Es importante anotar que el área de cultivos tolerantes a herbicidas incrementó entre los años 2001 y 2002 en 9% (3.6 millones de hectáreas) mientras la resistencia a insectos aumentó en 29% (2.3 millones de hectáreas). Este incremento ocurrió en su mayoría en Estados Unidos, después de haberse detectado altos niveles de infestación del barrenador de maíz Europeo en el año 2001 comparado con el 2000. Sin embargo también hubo crecimiento en área en Argentina y Sur Africa. El más grande incremento en maíz GM en el 2002 fue resistencia a insectos. la combinación resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas en maíz y algodón (4.4 millones de hectáreas) en el año 2002, aumentó en 0.2 millones de hectáreas, equivalente a un incremento del 5% comparado con el año 2001

Como se mencionó anteriormente, la soya tolerante a herbicidas continua siendo el cultivo transgénico más sembrado comercialmente en el 2002 en siete países

(Estados Unidos, Argentina, Canadá, México, Rumania, Uruguay, Sur Africa). Este cultivo ocupa el 62% del área total de transgénicos (Cuadro 6). El segundo es maíz resistente a insectos (Bt) ocupando 7.7 millones de hectáreas, equivalentes al 13% del área total de transgénicos y cultivado en siete países (Estados Unidos, Canadá, Argentina, Sur Africa, España, Honduras y Alemania). El tercer cultivo es colza tolerante a herbicida ocupando 3.0 millones de hectáreas equivalentes al 5% del total de transgénicos y cultivadas en solo dos países, Canadá y Estados Unidos. Los otros cinco cultivos (Cuadro 6) ocupan cada uno 4% del área global de transgénicos y son maíz tolerante a herbicida, 2.5 millones de hectáreas; algodón Bt, 2.4 millones de hectáreas; algodón tolerante a herbicida, 2.2 millones de hectáreas; algodón Bt y tolerante a herbicida, 2.2 millones de hectáreas y maíz Bt y tolerante a herbicida 2.2 millones de hectáreas.

La adopción de los cultivos transgénicos

se puede analizar comparando las áreas ocupadas por estos con las áreas sembradas con cultivos no transgénicos. Los datos actuales indican que el 51% de las 72 millones de hectáreas de soja sembradas en el mundo es transgénica, mientras que en el 2001 era de 46%. De las 34 millones de hectáreas de algodón, 6,8 millones es decir el 20% son transgénicas. En el caso de colza transgénica, esta se incrementó del 11 al 12% en el último año ocupando 3,0 millones de hectáreas de los 25 millones existentes en total. De manera similar, de los 140 millones de hectáreas de maíz sembradas en el 2002, 9% son transgénicas. Si comparamos los dos tipos de cultivos tendremos un área total de 271 millones de hectáreas, de las cuales casi el 22% son GM (19% en el año 2001). Es importante tener en cuenta que dos terceras partes de los 271 millones de hectáreas están ubicadas en países en vías de desarrollo donde las producciones son bajas, las limitaciones grandes



la soja convencional. En China el algodón Bt incrementó la producción de fibra en 514,000 toneladas métricas.

Conservación de la biodiversidad. La capacidad para incrementar la producción por área hace que los cultivos GM combinados con tecnología convencional, incrementen la probabilidad de que la producción pueda ser confinada a 1,500 millones de hectáreas actuales en las cuales la agricultura sostenible puede realizarse. Esto ayudará a la conservación de ecosistemas y ambientes frágiles, la conservación de centros de biodiversidad in-situ, la conservación de los silvestres y de los bosques, todo esto para beneficio de las futuras generaciones. Trece millones de hectáreas de bosques, en las cuales está la biodiversidad, generando y regulando el agua existente, se pierden cada año en los países en vías de desarrollo debido a la expansión agrícola e industrial.

Use más eficiente de insumos externos

50

LA ADOPCIÓN DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS SE PUEDE ANALIZAR COMPARANDO LAS ÁREAS OCUPADAS POR ESTOS CON LAS ÁREAS SEMBRADAS CON CULTIVOS NO TRANSGÉNICOS.

y la necesidad para mejorar la producción de alimento humano, animal y la producción de fibra es muy grande.

EL FUTURO

Generalmente la experiencia del pasado puede ser la mejor guía para el futuro. Durante los primeros siete años 1996-2002, se acumuló la siembra de más de 235 millones de hectáreas de cultivos GM en 19 países diferentes. Estos cultivos aportan beneficios agronómicos, ambientales, económicos y sociales para los agricultores los cuales se detallan a continuación.

Incremento en la producción de los cultivos para contribuir con la seguridad alimentaria. Los cultivos pueden contribuir con incrementos en la productividad, lo cual puede generar alimento más saludable y nutritivo. Por ejemplo en el año 2001, los ocho cultivos GM sembrados en Estados Unidos incrementaron la producción en 1,700 millones de kilogramos. En Argentina la soja tolerante a herbicida produjo 10% más que

y un ambiente más sostenible. Los cultivos modificados genéticamente conllevan al uso de insumos externos de una forma más eficiente. Los cultivos GM tolerantes a herbicidas y resistentes a insectos como soja, maíz, algodón y colza han generado un gran ahorro en el uso de pesticidas convencionales. En el año 2001, en Estados Unidos cultivos tolerantes a herbicidas y resistentes a insectos redujeron el uso de pesticidas convencionales en 20,7 millones de kilogramos del ingrediente activo (i.a.) con implicaciones positivas para el ambiente. De una forma similar en China en el año 2001, la aplicación de insecticida en algodón se redujo en 78.000 toneladas debido a la siembra de 1,5 millones de hectáreas de algodón Bt. El ahorro global en insecticidas debido solamente al algodón Bt es estimado en 33,000 toneladas métricas (i.a.) de las 81,200 toneladas (i.a.) aplicadas en total al algodón en el año 2001.

Incremento en la estabilidad de la producción del cultivo con el fin de disminuir las hambrunas causadas por estrés abiótico

y biótico. La historia confirma que las hambrunas se han producido por la inestabilidad en la producción debido a la sequía, patrones atmosféricos no favorables, pestes y enfermedades. La biotecnología ofrece la posibilidad de reducir la variabilidad en la producción debida a estrés abiótico y biótico, especialmente características complejas como la tolerancia a sequía; esta es una limitación que se presenta en al menos un tercio de los 1,500 millones de hectáreas de tierra cultivable.

Beneficios económicos y sociales para aliviar la pobreza. Los beneficios económicos se obtienen por los pequeños agricultores de los países en vías de desarrollo y los grandes cultivadores de los países industrializados. Los cultivadores, y no los autores de la tecnología, son los mayores beneficiarios de los cultivos GM. En China la ganancia económica para cultivadores de algodón Bt fue de US\$ 500 / hectárea equivalente a un beneficio nacional de US\$ 750 millones en el año 2001. De los 5 millones de cultivadores GM en el mundo, más del 75% fueron pequeños agricultores de algodón, principalmente en China y miles en Makhathini Flats en Sur Africa. Esta ayuda para los pequeños agricultores derivada de los beneficios obtenidos a partir del algodón Bt apoyan la tesis emitida en el 2001 la cual enuncia que la Biotecnología puede contribuir a aliviar la pobreza. En términos de beneficios sociales, los cultivos GM incrementan significativamente las entradas económicas y permiten ahorrar tiempo, lo cual es beneficioso particularmente para agricultores pobres de los países en vías de desarrollo. En China, el aumento en las entradas económicas en las familias pobres, hizo que ellas gastaran más en alimento incrementando así su nivel de nutrición. En Sur Africa, donde el 50% de los cultivadores de algodón son mujeres, el cultivo de algodón Bt les permitió estar más tiempo acompañando y cuidando a sus hijos y obtener entradas económicas adicionales desempeñando otras actividades.

Debido a la tendencia constante, creemos que el número de cultivadores de organismos GM continuará creciendo en los próximos años, particularmente en los seis

CUADRO 7.

PORCENTAJE DEL ÁREA DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS EN EL AÑO 2002.

CULTIVO	ÁREA TOTAL	ÁREA CON CULTIVO TRANSGÉNICO	% ÁREA TRANSGÉNICA
SOYA	72	36.5	51
ALGODÓN	34	6.8	20
COLZA	25	3.0	12
MAÍZ	140	12.4	9
TOTAL	271	58.7	

principales países, Estados Unidos, Argentina, Canadá, China, Sur Africa y Australia. Entre los otros 10 países, se espera que la India incremente su área en algodón Bt y dos o tres nuevos países comiencen a cultivarlo. Recientemente Filipinas aprobó la siembra comercial de maíz Bt y se espera que las plantaciones se inicien durante el año 2003.

Actualmente los tres países del continente asiático más poblados, China, India e Indonesia, con 2,500 millones de personas tienen cultivos comerciales GM. Dos de las mayores economías de América Latina, Argentina y México tienen cultivos GM, además de Sur Africa en el continente Africano. En el año 2002 los cultivos GM crecieron en 16 países con una población combinada de 3,200 millones de personas, viviendo en Asia, Africa, América Latina, América del Norte, Europa y Oceanía. Además, a pesar de la controversia que existe sobre los cultivos GM, el número de hectáreas y de cultivadores que utilizan este tipo de cultivos, es cada vez mayor y se ha incrementado constantemente desde el año 1996 cuando fueron introducidos por primera vez. Por primera vez en el año 2002, más de la mitad de la población mundial vive en países donde los cultivos GM han sido aprobados oficialmente y por consiguiente están actualmente siendo cultivados. ♦

REFERENCIAS

- Alvarez, D.P. 2000. Connecting people to the promise of Biotech: Updated of the ISAAA Fellowship Program in Africa and Southeast Asia. ISAAA Briefs No.15. ISAAA: Ithaca, NY.
- James, C. 2002. Global status of commercialized transgenic crops: 2002. ISAAA Briefs No.27. ISAAA: Ithaca, NY.
- James, C. 2001. Global status of commercialized transgenic crops: 2001. ISAAA Briefs No.27. ISAAA: Ithaca, NY.
- James, C. 2000. Global status of commercialized transgenic crops: 2000. ISAAA Briefs No.27. ISAAA: Ithaca, NY.
- Wambugu, F. Y Kiome, R. 2001. The benefits of Biotechnology for small-scale banana farmers in Kenya. ISAAA Briefs No.22. ISAAA: Ithaca, NY.

LOS TRANSGÉNICOS su imagen y su público

La relación que la sociedad establece con la biotecnología no es homogénea. Para referirse al carácter plural de estas relaciones se utiliza el término de percepciones públicas. Se presentan observaciones sobre la construcción del saber social sobre biotecnología en Colombia en el campo específico de los alimentos transgénicos.

52

Carlos José Parales
Psicólogo, MSP, PhD. Profesor
Escuela de Ciencias Humanas,
Universidad del Rosario.
Email: cparales@urosario.edu.co

La biotecnología se impone como uno de los campos de desarrollo científico y tecnológico más dinámicos, problemáticos y con mayor potencial de transformar a la sociedad; se trata de una verdadera revolución con posibilidades de aplicación en distintos ámbitos de la vida. Los posibles empleos son tan numerosos y variados, que Rifkin (1998) sugiere que este será el siglo de la biotecnología.¹ En este ensayo la biotecnología será entendida en su acepción de modificación genética de organismos; concretamente las tecnologías del ADN recombinante y la clonación de genes. La presentación del contexto general sobre las relaciones entre público y biotecnología servirá como introducción al tema de las percepciones públicas de los organismos genéticamente modificados y particularmente de los alimentos transgénicos.

En el momento en que la biotecnología irrumpe en el escenario social, las personas enfrentan la necesidad de relacionarse con ella. La exigencia de elaborar conocimiento sobre biotecnología sigue dos razones fundamentales interrelacionadas: la biotecnología surge como la novedad con la que es necesario familiarizarse; también aparece como asunto problemático que es necesario manejar y controlar. El proceso de familiarización y control se establece a partir de lo conocido y se desarrolla mediante la incorporación paulatina de datos que circulan en la sociedad y que los grupos sociales re-construyen como información.

1. Rifkin, Jeremy. *The biotech century: harnessing the genes and remaking the world*. New York: Penguin Putnam, 1998.







La relación que la sociedad establece con la biotecnología no es homogénea y por eso es más preciso referirse a relaciones entre instancias y grupos sociales por una parte y biotecnología por la otra, subrayando la pluralidad en los puntos de vista sobre biotecnología. Para hacer referencia al carácter plural de las relaciones entre sociedad y biotecnología utilizaré el término de percepciones públicas, las que se corresponden con los procesos generados en la esfera pública; aquella red en la que se comunican y debaten puntos de vista; el mercado de opinión (Habermas, 1997)². El término 'públicas' remite a la pluralización del público; la heterogeneidad en las posiciones sobre algo que se articula con el desarrollo de intereses en conflicto.

Para desarrollar las ideas me referiré en primer lugar a la elaboración social de

como marcos generales de referencia para asimilar y entender lo que se nos presenta como nuevo; este es el papel de la cultura. En segundo lugar, dependen también del grupo al que pertenecemos; los grupos de referencia no sólo difunden los temas culturales sino también orientan sobre las maneras como se construyen relaciones con asuntos públicos. La orientación se establece en los planos cognoscitivo (las formas de pensar la biotecnología); afectivo (los modos de evaluar la biotecnología) y comportamental (las maneras de actuar frente a la biotecnología, como en el caso de decisiones sobre consumo de transgénicos). Finalmente, las percepciones están sujetas a los patrocinios ejercidos por diferentes grupos con intereses políticos o económicos; los grupos involucrados en debates sobre biotecnología presionan el cambio de actitu-

EL DESARROLLO DE PERCEPCIONES PÚBLICAS SOBRE BIOTECNOLOGÍA DEPENDE DE VARIOS FACTORES, EN PRIMER LUGAR, DE CATEGORÍAS PRE-EXISTENTES DE PENSAMIENTO CON LAS QUE INTERPRETAMOS EL MUNDO.

conocimiento sobre biotecnología; luego, haré algunas observaciones sobre el trabajo inicial de construir saber social sobre biotecnología en Colombia en el campo específico de los alimentos transgénicos; finalmente presentaré algunas conclusiones sobre la importancia del estudio social de la ciencia y la tecnología.

LAS PERCEPCIONES PÚBLICAS DE LA BIOTECNOLOGÍA

La percepción es básicamente el conocimiento desarrollado a partir de la integración de distintos datos sensoriales. La percepción hace referencia a 'visiones de mundo', la construcción de entendimiento y puntos de vista sobre 'cosas'.

Como con cualquier otro tema, el desarrollo de percepciones públicas sobre biotecnología depende de varios factores; en primer lugar, de categorías pre-existentes de pensamiento con las que interpretamos el mundo; las llamaré temas. Los temas son importantes porque nos sirven

des y opiniones y en fin, el acogimiento público de sus puntos de vista. La manera como se estructura la comunicación va desde la difusión de contenidos en formas aparentemente neutrales, hasta el desarrollo de actividades abiertas de propaganda que llaman claramente a tomar partido en pro o en contra de los desarrollos de la biotecnología.

Las relaciones entre grupos y biotecnología muestran la amplia gama de posiciones y de representaciones que suscita el tema. No existe una sola posición y aun dentro de los mismos grupos las posiciones no son necesariamente constantes. Las percepciones abarcan un espectro de actitudes, que van desde declararse abiertamente a favor y proclamar los beneficios y oportunidades de la biotecnología, hasta mostrarse totalmente en contra y pregonar la amenaza y horrores que implica. Dentro de los primeros se encuentran quienes defienden la terapia

² Habermas, Jürgen. *Between facts and norms: contributions to a discourse theory of law and democracy*. Cambridge: Polity, 1997.

génica, la modificación genética de organismos en agricultura y alimentación y el desarrollo de tecnologías para la preservación del medio ambiente. Los oponentes alegan los problemas inherentes a la eugenesia, la amenaza a la biodiversidad y el peligro que supone para las libertades y derechos individuales el acceso y utilización de la información genética. La mayoría de las personas, sin embargo, se sitúan entre ambos extremos y muestran posiciones ambivalentes frente a la biotecnología (Biotechnology and the European Public Concerted Action group, 1997).³

LA SOCIEDAD COLOMBIANA Y LA BIOTECNOLOGÍA

Para comprender las relaciones que una sociedad establece con la biotecnología es necesario explorar los distintos sistemas que componen lo social; entre ellos, los medios de comunicación, la legislación vigente, la economía y los grupos con sus respectivos intereses. En contextos democráticos, todos esos sistemas aportan elementos que resultan decisivos para establecer los acuerdos y desacuerdos que expresa la sociedad como un todo, pues con base en ellos se establecen las posibilidades y los límites de las actuaciones sociales.

En Colombia el tema de la biotecnología ha estado presente, por lo menos en la legislación, desde los años setenta y sin embargo, aún no alcanza la visibilidad social necesaria para convertirse en tema prioritario de la agenda pública; la biotecnología en Colombia no es un asunto decisivo en cuestiones políticas. El escaso debate público puede ser parcialmente atribuible a la competencia de problemas en un país sumido en un conflicto armado de larga duración. También podría pensarse en el efecto que tiene la percepción de las posibilidades de acción por parte de una sociedad en situación de dependencia tecnológica con respecto a una tecnología estratégica sobre la que ya existen decisiones por parte de poderes gubernamentales y corporativos.

La biotecnología comenzó su notable impulso a comienzos de los años setenta con el desarrollo de la tecnología del ADN recombinante. En Colombia las primeras normas para regular la manipulación genética se promulgaron en el Código Nacional



55

de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (1974); la Ley 99 de 1993 también reglamentó algunos aspectos relacionados con licencias ambientales. En ambos casos la biotecnología se encontraba restringida a públicos y actores especializados.

El interés general despertó con la clonación de la oveja Dolly en 1997. Este evento recibió amplia cobertura en la prensa nacional e internacional y fue seguida por una serie de medidas reglamentarias que daban cuenta de la inminencia de las aplicaciones biotecnológicas. Específicamente se trata de la creación del Comité Técnico Nacional para el manejo en sus distintas etapas de Organismos Modificados Genéticamente (OMG) (1998), la reglamentación de procedimientos relacionados con los OMG (1998), la expedición del nuevo Código Penal (2000), el establecimiento de procedimientos de bioseguridad en relación con OMG (2001), la creación de la Comisión Intersectorial de Bioética (2001), y la adopción del Protocolo de Cartagena (2002).

Biotechnology and the European Public Concerted Action group, *Europe ambient on biotechnology*, Nature, 387, 845-847, 1997.



Competitividad en transgénicos

El año pasado el área global de cultivos transgénicos se incrementó 19 por ciento con respecto al 2001, el 47 por ciento de los nuevos cultivos transgénicos se plantaron en 19 países, según un informe del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) de Estados Unidos.

El mundo sembró 67,7 millones de hectáreas el año pasado.

Ahorros de 40% con transgénicos

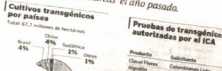
En total se han sembrado 11.100 hectáreas de algodón en todo el país. Los agricultores que usan transgénicos ahorran hasta un 40 por ciento en pesticidas y agua. El algodón transgénico es más resistente a plagas y enfermedades.

Súper alimentos

Se "construyen" productos más nutritivos. Los alimentos transgénicos pueden ser diseñados para tener propiedades nutricionales específicas, como mayor contenido de vitaminas o proteínas.

Crecen cultivos transgénicos

El mundo sembró 67,7 millones de hectáreas el año pasado. El informe del SAG muestra un crecimiento sostenido en la adopción de cultivos transgénicos a nivel global.



¿Qué esperar de la genómica en los próximos 50 años?

La genómica promete revolucionar la agricultura y la medicina. En los próximos 50 años, se espera que se identifiquen todos los genes de un organismo, lo que permitirá desarrollar cultivos más resistentes y medicamentos más efectivos.

PERCEPCIONES PÚBLICAS DE LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

La biotecnología agrícola es un campo que ha recibido especial atención en Colombia, tanto por los supuestos beneficios para la productividad y competitividad del país como por los presuntos riesgos para el medio ambiente y los sistemas productivos locales. Una de las áreas de investigación en agrobiotecnología es la producción de alimentos. De interés para el análisis de las relaciones entre públicos y biotecnología es el estudio de las aplicaciones biotecnológicas en un campo cotidiano como el de la alimentación:

¿Cómo comienza el proceso de elaboración de conocimiento social sobre un tema completamente novedoso y potencialmente cotidiano como el de los alimentos transgénicos? Esta pregunta orientó una investigación financiada por Colciencias y desarrollada en Bogotá en el

año 2001 (Parales, en prensa).⁴ La investigación aprovechó el momento inicial de las relaciones entre públicos y alimentos transgénicos para estudiar los procesos y elementos germinales en la creación de conocimiento social.

La investigación siguió el modelo de las representaciones sociales propuesto en el trabajo de Serge Moscovici (1961)⁵ El psicoanálisis, su imagen y su público que versa sobre la difusión de conocimiento especializado en la sociedad francesa de los años cincuenta. El estudio sobre las percepciones públicas de los transgénicos exploró el contenido de medios de comunicación escritos, discusiones grupales, normatividad vigente y una encuesta de asociación libre en una muestra de mil habitantes de la ciudad de Bogotá. En conjunto todas esas dimensiones de lo social constituyen una buena aproximación a las percepciones públicas de los alimentos transgénicos.

LAS PERCEPCIONES VAN DESDE DECLARARSE ABIERTAMENTE A FAVOR Y PROCLAMAR LOS BENEFICIOS

4. Parales, Carlos J. Preferences need no inferences, once again: germinal elements in the public perceptions of gen foods in Colombia. Public Understanding of Science. En prensa.
5. Moscovici, Serge. The psychoanalysis, social image and social public. Paris: PUF 1961.
6. Dohndsen, Urs. Biotechnology in Switzerland: frames in heated debate. Science Communication, 24, 184-197, 2002.
7. Ganssow, W A y Modigliani, A. Media discourse and public opinion on nuclear power: a constructionist approach. American Journal of Sociology, 95, 1-37, 1989.

El análisis del contenido de los discursos de prensa y entrevistas grupales siguió el modelo de marcos discursivos (cf. Dahinden, 2002; Gansom y Modigliani, 1989).^{6,7} ¿Cuáles son los marcos para el encuadramiento del discurso público sobre transgénicos? Esta aproximación al estudio del discurso es adecuada porque reconoce el dinamismo y la flexibilidad de la comunicación; no se trata simplemente de describir porcentajes a favor o en contra de un tema determinado como en la mayoría de los sondeos de opinión. Los marcos son esquemas, ideas organizadoras de discursos formales e informales que permiten entender los contextos de elaboración de opinión pública; no indican posiciones definidas, son más bien criterios de construcción de discurso. El estudio de los marcos permite entender por qué las personas pueden cambiar fácilmente de posición cuando se modifica el contexto de la comunicación.

Los marcos poseen promotores interesados en defender puntos de vista; circulan en la esfera pública como mecanismos retóricos creados y afinados por grupos con el fin de resguardar y patrocinar intereses particulares. Los marcos son estructuras de comunicación y opinión que funcionan en contextos específicos y dicen en qué términos la sociedad está pensando un asunto determinado. En ellos se propagan elementos que pueden ser palabras, imágenes, metáforas y actitudes que sirven como organizadores de creencias y representaciones sociales. Tanto los marcos como los elementos organizadores actualizan los temas culturales y de esta manera enraizan las creencias en valores colectivos, confiéndole estabilidad a las creencias.

Para la exploración de las percepciones públicas sobre transgénicos en la prensa escrita y en las etapas iniciales de la relación de los públicos con el tema, se seleccionaron tres medios considerados líderes en la formación de opinión: los periódicos *El Espectador* y *El Tiempo* y la revista *Semana*, durante el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de



diciembre del año 2000. Con frecuencia estos tres medios fijan la agenda para el debate público de asuntos de interés. La selección de la fecha coincidió con la resonancia de eventos como el Convenio de Bioseguridad de Cartagena.

Los marcos de las discusiones grupales se exploraron a partir de seis grupos focales: dos grupos de profesionales, dos grupos de amas de casa y dos grupos de estudiantes de último año de secundaria. Se añadieron además, como una dimensión importante en la conformación de las percepciones públicas, algunos artículos publicados por una Organización No Gubernamental (ONG). El discurso de las ONG es esencial en la construcción de la realidad social de la biotecnología debido a que estas organizaciones se perciben contrarrestando el poder de la industria y el gobierno. Finalmente, se analizaron los resultados de la encuesta de asociación libre para identificar los elementos organizados-

Y OPORTUNIDADES DE LA BIOTECNOLOGÍA, HASTA MOSTRARSE TOTALMENTE EN CONTRA Y PREGONAR LA AMENAZA Y HORRORES QUE IMPLICA.

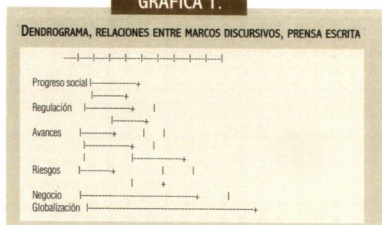
res y relacionarlos con posibles temas culturales.

Los resultados mostraron que los medios de comunicación son el canal más importante para la difusión de contenidos sobre alimentos transgénicos; en general la prensa colombiana percibe a la biotecnología y los transgénicos de manera positiva. Los discursos de la prensa se agrupan en seis marcos (ver gráfica 1): progreso (social), avances (científicos y tecnológicos), riesgo, negocio, regulación, y globalización. El marco progreso (social) hace referencia a las oportunidades económicas y sobre todo sociales que ofrecen los desarrollos de la biotecnología y la modificación genética de organismos; fue el más común de los seis marcos. El marco avances (científicos y tecnológicos) presenta el auge de los transgénicos en términos de logros científicos; este marco expresa las maravillas de los avances de la ciencia, que si bien no están exentas de

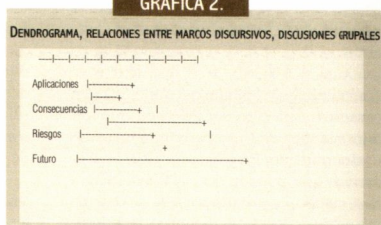
claramente los beneficios para el país y para la agricultura nacional, en el marco negocio la referencia se orienta a la inversión y las ganancias y al papel de las grandes multinacionales. El marco regulación sirve para comentar el estado de la normatividad jurídica. Finalmente el marco globalización está orientado al contexto global de la manipulación genética de alimentos. Como se observa en la figura 1, las asociaciones más importantes se establecieron entre los marcos avances y riesgos y progreso social y regulación, lo cual muestra que la prensa colombiana busca ofrecer información equilibrada conciliando los aspectos positivos y negativos de los transgénicos desde una estructura de comunicación típica de procesos de difusión de información en la que se busca dar la apariencia de objetividad.

Con respecto a los grupos, los marcos que emergieron en las discusiones fueron: aplicaciones, consecuencias, riesgos y fu-

GRÁFICA 1.



GRÁFICA 2.



producir riesgos, ofrecen una gran cantidad de beneficios. A diferencia del marco progreso (social), este marco no se orienta hacia las consecuencias políticas y socioeconómicas de los transgénicos, sino a resaltar los logros de la ciencia. El marco riesgos está orientado a presentar las posibles consecuencias de la modificación genética de organismos para la alimentación, tanto para el cuerpo humano como para otras especies y el medio ambiente. El marco negocio hace referencia explícita a las oportunidades económicas que ofrece la biotecnología de alimentos. A diferencia del marco progreso en el que se exponían

el futuro (ver gráfica 2). El marco aplicaciones consiste en los usos, conocidos o intuidos, de la recombinación genética en el campo de los alimentos; la información se concreta en imágenes sobre mutaciones y combinaciones de alimentos a partir de información genética. Este marco fue característico de los grupos de profesionales. El marco consecuencias hace referencia a los aspectos positivos y negativos de la biotecnología de alimentos. Las consecuencias negativas se explicitan aún más en el marco riesgos, el cual está orientado a estructurar las discusiones sobre la producción de riesgos para la salud humana por el con-



sumo de alimentos transgénicos. Finalmente, el marco futuro es particular de los grupos de amas de casa y estudiantes de secundaria. Este marco orienta una discusión rica en imágenes sobre las expectativas que genera el desarrollo científico y tecnológico en el campo de la nutrición: los transgénicos se perciben como alimentos futuristas. La estrecha asociación entre los marcos aplicaciones y consecuencias muestra que si bien no existen posiciones muy definidas sobre la producción, comercialización y consumo de transgénicos, sí hay un conocimiento particularmente intuitivo que es producto de la disponibilidad de temas culturales.

El discurso de la ONG en las publicaciones analizadas fue el más crítico de la producción y comercialización de transgénicos. Los marcos identificados fueron: desarrollo local, regulación in-

ternacional, evaluación de impacto, avances (científicos y tecnológicos) y daño ambiental. En estos discursos se observa una posición política más clara y de abierto rechazo a los intereses económicos y políticos que promueven la producción de transgénicos. Desde estas posturas, lo local enfrenta a lo global y lo cultural a lo económico.

En cuanto a la encuesta de asociación de palabras, las contribuciones de las sesenta palabras más frecuentes (i.e. elementos organizadores) asociadas por las mil personas entrevistadas permitieron distinguir cinco categorías: a) aspectos negativos, en la que los transgénicos se definen en términos de anormales, alterados, antihigiénicos, artificiales, enfermedades, dañinos, etc. b) aspectos positivos, en la que aparecen términos como buenos, especiales, higiénicos, mejorados, naturales, saluda-



bles, etc. c) dieta, en la que los transgénicos se asocian con alimentos que hacen parte de la dieta diaria, tales como arroz, arvejas, cereales, ensaladas, frutas, huevos, maíz, sopas, etc. d) artificiales, en las que se hace referencia a los transgénicos con asociaciones tales como combinados, congelados, conservados, empacados, laboratorios, manipulados, procesados, preparados, etc. e) finalmente la categoría correspondiente a respuestas del tipo 'no sabe'.

En conjunto los datos muestran di-

ferencias en la asociación de acuerdo con el grupo. Existe un grupo de estrato social bajo, de mayor edad y educación primaria, caracterizado por la asociación de elementos que hacen parte de la dieta diaria; en este grupo los transgénicos se materializan en lo cotidiano sin presentar novedad y por lo tanto no ofrecen problemas. En otro extremo se encuentra un grupo más joven, de mayor escolaridad y estrato social que utiliza conceptos más abstractos y asociaciones más variadas e informadas y que

B. Margrett, B.M. Martínez, J.A. Saba, A. Holm y Kearry, M. Definitions of 'healthy eating': a pan-EU survey of consumer attitudes to food, nutrition and health. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51 (Suppl 2), S23-S29, 1997.



definen a los transgénicos en términos de la transformación de los alimentos.

Con base en el análisis se hizo evidente que no existe una posición bipolar frente al tema. Los aspectos positivos y negativos, lo natural y lo artificial, lo tradicional y lo moderno, se mezclan dando como resultado sistemas complejos que caracterizan la lógica del sentido común: ambivalencia y presencia de contradicciones. Las palabras, que para la formación de percepciones actúan como elementos or-

ganizadores iniciales, sufren el efecto significativo de la escolaridad. Los resultados son consistentes con hallazgos previos en el sentido de la fuerte influencia del nivel educativo en percepciones sobre nutrición, independientemente de si dichas percepciones se ajustan o no a contenidos expertos (Margetts, Martínez, Saba, Holm y Kearny, 1997).⁸

Los marcos discursivos y los elementos organizadores iniciales sirven para actualizar temas culturales como natural/artificial, tradición/cambio y salud/enfermedad. Los temas son la instancia primigenia de asignación de sentido y permiten el desarrollo de posturas evaluativas y de actitudes como componentes genéticos primarios de los sistemas de creencias sociales, en este caso sobre alimentos transgénicos.

Se ha dicho que en campos novedosos y complejos como la biotecnología, las personas pueden tener 'conciencia' sobre un tema sin tener conocimientos específicos y que aún los grupos con altos niveles de educación tienen poco conocimiento sobre biotecnología (cf. Wansink y Kim, 2001).⁹ La hipótesis de los temas culturales es una explicación alternativa al desarrollo de 'conciencias' frente a temas de ciencia y tecnología sobre los cuales los públicos han construido poca información.

Por lo tanto y debido a que la cultura y los valores son fundamentales en la construcción social de conocimiento y sobre todo en cuestiones de controversia pública como los transgénicos, el solo suministro de contenidos no es suficiente para lograr cambios en las posibles maneras en las que los públicos se relacionan con la biotecnología y con los alimentos transgénicos. Las relaciones entre el conocimiento sobre biotecnología y su aceptación pública pasan necesariamente por los valores culturales y las expectativas sociales. Por lo demás cabe recordar que el déficit o suficiencia de información y conocimiento público sobre ciencia no parecen explicar por sí solas las actitudes sobre temas de ciencia y tecnología.

9. Wansink, Brian y Kim, Junyoung. The marketing battle over genetically modified foods: false assumptions about consumer behavior. *American Behavioral Scientist*, 44, 1405-1417. 2001.

CONCLUSIONES

Sobre las relaciones entre públicos y biotecnología, el caso de Colombia no es muy diferente al de otros países. La importancia de los medios de comunicación en el surgimiento de la biotecnología como tema público, las posturas ambivalentes de la sociedad y el relativo optimismo de los medios frente a las contribuciones de la ciencia, son todos elementos que caracterizan las percepciones públicas de la biotecnología, en particular para el caso de los alimentos transgénicos. Estas percepciones no son homogéneas y estables sino caleidoscópicas y dependen en buena parte del área de aplicación de la biotecnología.

Uno de los aspectos que ha marcado el avance de la biotecnología son los beneficios económicos y la competitividad. A las grandes posibilidades de desarrollo que se vislumbran, principalmente en el campo de la agrobiotecnología, se suman preocupaciones sobre consecuencias y riesgos, la credibilidad en el gobierno y las instituciones para la regulación apropiada, la influencia de las Organizaciones No Gubernamentales y los intereses de gobiernos extranjeros y corporaciones multinacionales. En Europa por ejemplo, los estudios han mostrado que la gente tiene poca confianza en las autoridades para regular asuntos de biotecnología (Durant, Bauer y Gaskell, 1998).¹⁰

En Colombia, por lo menos para el año 2001, el tema de los transgénicos no era visible socialmente. Es probable que en estos últimos años los datos disponibles en la sociedad y la información construida por los públicos hayan aumentado. En corto tiempo se hará indispensable el seguimiento de las relaciones entre los públicos y la biotecnología, a medida que sucedan nuevos desarrollos y el tema presione cada vez más su elaboración como representación social.

El estudio de las percepciones públicas es importante porque la formulación de políticas tiene cada vez más



en cuenta la opinión de las personas. Las políticas públicas expresan los valores y expectativas de una sociedad y de cierta manera institucionalizan sus aspiraciones. No sabemos cuál será el efecto real que tendrá la opinión pública sobre los desarrollos e implementación de la biotecnología en Colombia, pero buena parte de lo que suceda tendrá que ver con las actitudes y las representaciones de los colombianos. Mucho de lo que enfrente la biotecnología en el futuro trascenderá el campo de la ciencia, para incluir a la economía, la política y la confianza de las personas en las instituciones. ♦

10. Durant, John, Bauer, Martin, y Gaskell, George (Eds.) *Biototechnology in the public sphere: a European sourcebook*. London: Science Museum, 1998.

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

Colombia: Ciencia y Tecnología es la revista de carácter divulgativo de Colciencias. Es una publicación trimestral sobre la actividad científica y tecnológica de Colombia e instrumento de información y actualización para la comunidad de investigadores y público en general. Los temas seleccionados para cada edición son aprobados previamente por un Comité Editorial encargado de asegurar la calidad de la revista.

Ninguna publicación, nacional o foránea, podrá reproducir o traducir sus artículos o resúmenes, sin previa autorización escrita del editor.

La revista tiene un tiraje de 2000 ejemplares y se distribuye por suscripción, canje o donación a miembros de la comunidad científica, sector académico, empresarios, bibliotecas, entidades gubernamentales, centros de investigación y público en general.

CONDICIONES PARA LA PUBLICACIÓN DE UN MATERIAL

1. **Colombia: Ciencia y Tecnología** publicará las siguientes categorías temáticas:

- Artículos originales: documentos inéditos derivados de una investigación científica y tecnológica que produce información nueva sobre aspectos específicos y contribuye de manera relevante al conocimiento y estructuración del movimiento científico del país.
- Estados del arte en un campo de estudios de interés estratégico para el país.
- Relaciones internacionales del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y Colciencias.
- Dinámica de la investigación en el país: estudios sociales (historia, sociología, antropología, prospectiva) de CyT.
- Estrategias y políticas dentro del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y su desarrollo por Colciencias.
- Comentarios bibliográficos breves y críticos sobre libros recientemente publicados que, por su impacto, merecen ser explicados.
- Cartas al editor de los lectores solicitando aclaraciones o presentando comentarios sobre algún material publicado en la revista

2. Requisitos para la publicación de los artículos:

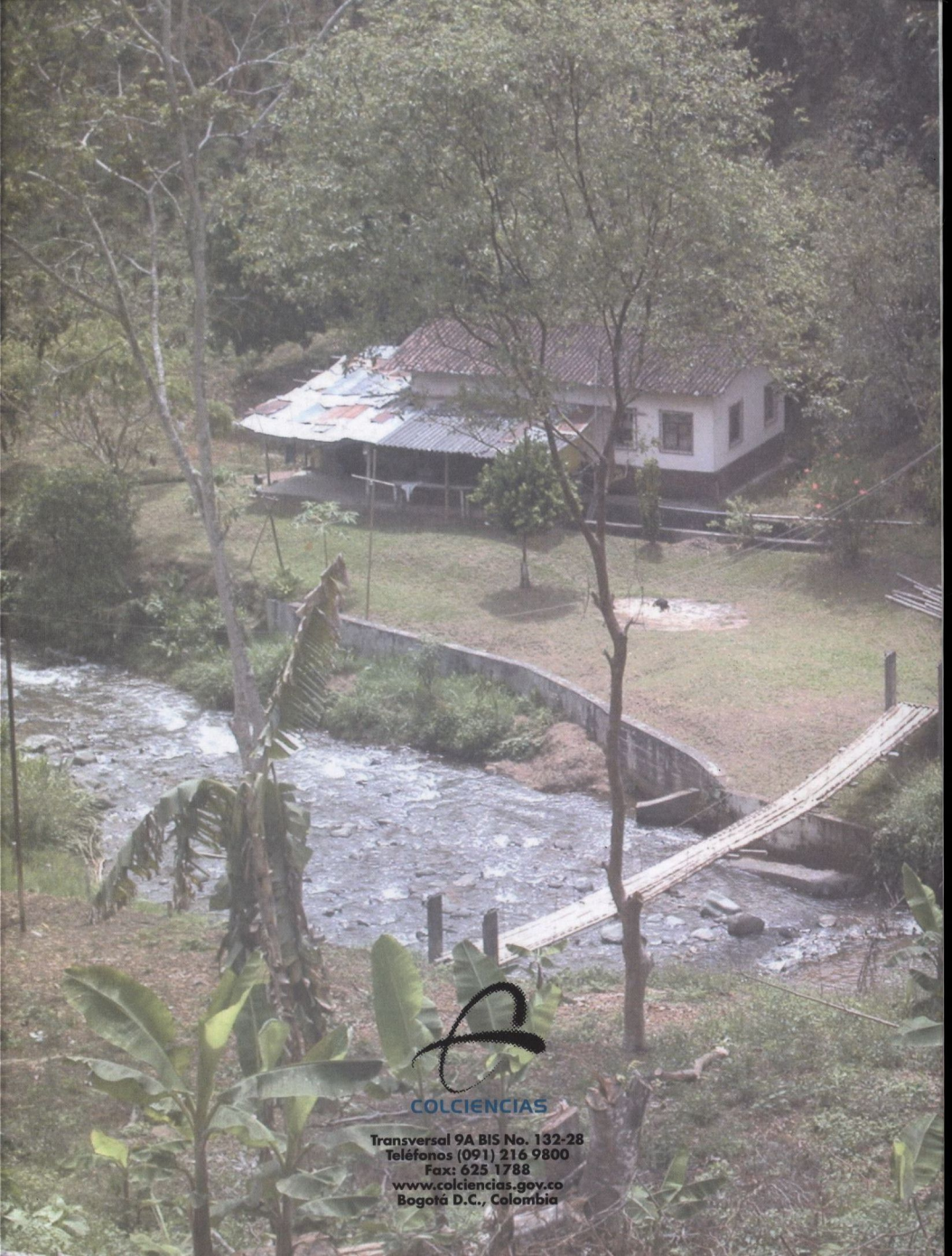
- Extensión: 10 cuartillas, tamaño carta (21.5x27.5 cm) a espacio y medio.
- Lenguaje de fácil comprensión para el lector no especializado.
- Definir todos los símbolos y abreviaturas la primera vez que sean usados dentro del texto.
- Entregar el material en disquete, con indicación del software empleado (preferiblemente en Word).
- Incluir propuesta del título del artículo, que sea atractivo y significativo.
- Incluir datos del autor con nombres, profesión, institución y cargo.
- Enviar el máximo número de diapositivas o ilustraciones en blanco y negro de excelente calidad para tener un margen de selección. Este material debe ser original o contar con la debida autorización del autor.
- Acompañar cada material gráfico con una breve leyenda evitando que esta contenga frases que ya están incluidas en el artículo.
- Limitar el uso de notas de pie de página.
- Incluir sólo las citas bibliográficas que tienen referencia en el texto. Estas citas deberán ser completas con autor, nombre del libro, editorial, fecha y página y no deben exceder las 10.

OBSERVACIONES GENERALES

El material recibido será evaluado por un experto externo a Colciencias. Esta evaluación es presentada ante el Comité Editorial de Colciencias para su estudio. Si el artículo es retenido para su publicación, el Comité sugerirá al autor las modificaciones que considere pertinentes y el número de ilustraciones y fotos que complementarán el texto en la revista. El autor deberá devolver la versión final una semana después de su remisión por el Comité Editorial.

Todo el material adicional al texto recibido por Colciencias, como disquetes, fotografías, dibujos, ilustraciones, diapositivas será devuelto al autor después de la impresión de la revista, a la dirección que éste haya precisado.

La redacción del material deberá ser consecuente con el carácter divulgativo de la revista y la diversidad de sus lectores.



COLCIENCIAS

Transversal 9A BIS No. 132-28
Teléfonos (091) 216 9800
Fax: 625 1788
www.colciencias.gov.co
Bogotá D.C., Colombia