

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. Asesora 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, solo 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 las nuevas biotecnologías, prestando particular atención al desarrollo sostenible, incluida la seguridad alimentaria, la salud y la productividad económica. Informe del Secretario General. 58º periodo 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 Savior or Saboteur? Debating 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/talks/>
4. WCMC - World Conservation Monitoring Centre. 2002. Biodiversity: an overview. www.wcmc.org.uk/infoserv/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/espanol/index.html
6. Dale P.J., B. Clarke & E.M.G. Fontes. 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. FNUAP, 2001.

9. FAO (Food and Agriculture Organization). 2001. FAO and the Biosafety Protocol to the Convention on Biological Diversity. Sustainable Development Dimensions: Knowledge: Research and 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 Ithaca, 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. Batie, 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

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.

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 benéficos (biocontroladores), ni en general, a los que se encuentran en el agroecosistema.¹⁸⁻²¹

En el caso de cultivos con resistencia

14. Dale et al., 2002.
15. Lemaux, 2001.
16. Yoon, C.K. 1999. Reassessing ecological risks of genetically altered plants. www.biotech-info.net
17. Dale et al., 2002.
18. Kirby, 1999
19. Nill K. 2002. Let the facts speak for themselves: The contribution of agricultural crop biotechnology to American farming. American Soybean Association, St. Louis, MO. Interim Report – 16 September 2002. <http://www.tomorrowbounty.org/library/prepubvs91502a.htm>
20. Bryant, P.J. 2001. Biodiversity and conservation. A hypertext book. School of Biological Sciences, University of California, Irvine, U.S.A. <http://darwin.bio.uci.edu/~sustain/bio65>



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. Phifer. 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science* 290:2088-2093.

28. Bryant, 2001

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

30. Fawcett R. & Towery 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 subsiguiente 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. Bryant, 2001
32. Muir, W.M. 2001. Potential environmental risks and hazards of biotechnology. <http://www.biotech-info.net>
33. Ammann, K., Y. Jacot, V. Simonsen & G. Kjellsson (Eds). 1999. Methods for Risk Assessment of Transgenic Plants. III. Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science. Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland. 260 p.
34. Ervin et al., 2000
35. NRC-CEI, 2002
36. Conner, A.J., T.R. Glare & J.P. Nap. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. The Plant Journal 33:19-46
37. NRC-CEI, 2002
38. NRC-CEI, 2002

que una planta transgénica adquiriera 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.⁴⁸ 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 SÍ MISMO

Se presentan varios mecanismos mediante los cuales puede haber movimiento de transgenes 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 éste 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 áfidos 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 & Phifer, 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. Simonsen & K. Ammann (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. Conner et al., 2003.
49. Snow, A.A. 2002. Transgenic crops - why gene flow matters. *Nature Biotechnol.* 20:542.
50. Dale et al., 2002



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

EFECTOS 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 EXISTE



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. Conner et al., 2003

59. Conner et al., 2003

60. Dale et al., 2002

61. AgBios - Agriculture & Biotechnology Strategies, Inc. 2002. Essential Biosafety™. A comprehensive source of scientific and regulatory information. CD-ROM 2nd Edition.

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

63. Daniell, H. 2002. Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. *Nature Biotechnol.* 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 nueva 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. Khan & 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.sdsu.edu/statement0601.htm>

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

67. NRC-CEI, 2002

68. Smyth, S., G.G. Khachatourians & 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. Pidgeon et al. 2003

73. Conko, G. & C.S. Prakash 2002. *Battling Hunger with Biotechnology. Economic Perspectives (An Electronic Journal of the U.S. Department of State)*. 7 (2): 4p.