

LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS Y LA AGRICULTURA MUNDIAL

Informe elaborado bajo los auspicios de la *Royal Society of London*, la Academia de Ciencias de Brasil, la Academia de Ciencias de China, la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, la Academia Mexicana de Ciencias, la Academia Nacional de Ciencias de la India y la *U.S. National Academy of Sciences*.

PREFACIO

En el transcurso del siglo xxi, la humanidad tendrá que enfrentar una serie extraordinaria de retos. Según se estima, la población mundial será de 8,000 millones de personas en 2030, es decir, 2,000 millones más que hoy. Será necesario resolver los problemas mundiales de hambre y pobreza y, al mismo tiempo, conservar los sistemas de sustento de la vida representados por el ambiente natural del planeta. A fin de enfrentar estos retos, será necesario disponer de nuevos conocimientos derivados del avance científico ininterrumpido, el desarrollo de nuevas tecnologías adecuadas y una amplia difusión de dichos conocimientos y tecnologías, así como la capacidad de utilizarlos en todo el mundo. Será necesario, asimismo, que los gobiernos nacionales, estatales y locales de cada país establezcan políticas inteligentes, basadas en una toma de decisiones informada.

Los avances de la ciencia requieren un sistema de intercambio de información abierto, cuyos argumentos se basen en evidencias comprobables. Si bien es cierto que el objetivo fundamental de la ciencia es acrecentar nuestra noción del mundo, los conocimientos científicos nos han aportado inmensos beneficios prácticos. Por ejemplo, gracias a la ciencia, ahora comprendemos de una manera más completa nuestro medio ambiente natural, hemos mejorado la salud humana mediante nuevos medicamentos y logramos descubrir los genes específicos que controlan la resistencia a la sequía o a las enfermedades en las plantas.

La biotecnología puede definirse como la aplicación de nuestros conocimientos y nuestra comprensión de la biología para la satisfacción de necesidades prácticas. Según esta definición, la biotecnología es tan antigua como la siembra de cultivos y la elaboración de quesos y vinos. La biotecnología actual se identifica principalmente por sus aplicaciones médicas y agrícolas basadas en nuestro conocimiento acerca del código genético de la vida. Se han utilizado

varios términos para describir esta forma de biotecnología, entre los que destacan: ingeniería genética, transformación genética, tecnología transgénica, tecnología de DNA recombinante y tecnología de modificación genética. Para los fines del presente informe, que se enfoca en las plantas y sus productos, utilizaremos el término tecnología de modificación genética, o tecnología MG.

La tecnología MG nació en la década de 1970. Uno de sus avances más notorios, aparte de las aplicaciones médicas, fue la creación de nuevas variedades de plantas agrícolas transgénicas. De entonces a la fecha, muchos millones de hectáreas han sido sembradas anualmente con cultivos transgénicos comerciales, como soya, algodón, tabaco, papa (patata) y maíz, en varios países entre los que figuran Estados Unidos (28.7 millones de hectáreas en 1999), Canadá (4 millones de hectáreas), China (0.3 millones de hectáreas) y Argentina (6.7 millones de hectáreas) (James, 1999). Sin embargo, se ha debatido intensamente en torno a los beneficios y riesgos potenciales que podrían derivarse del uso de tales cultivos.

Un gran número de decisiones cruciales que habrán de tomar en el próximo siglo las corporaciones privadas, los gobiernos y los individuos en cuanto a biotecnología, afectarán el futuro de la humanidad y los recursos naturales del planeta. Estas decisiones deberán basarse en la mejor información científica de que dispongamos, a fin de permitir la selección eficaz de las distintas alternativas de planes de acción. Por esta razón, los representantes de siete academias de ciencias del mundo se reunieron para ofrecer recomendaciones a los promotores y supervisores de la tecnología MG y al mismo tiempo, presentar perspectivas científicas para el debate público actual en cuanto al posible papel de la tecnología MG en la agricultura mundial.

RESUMEN

Es imprescindible que mejoremos la producción y distribución de los alimentos, si es que queremos alimentar y librar del hambre a la creciente población mundial, al mismo tiempo que reducimos los impactos ambientales y generamos empleos productivos en las regiones de bajos ingresos. Para lograrlo, será necesario hacer un uso adecuado y responsable de los descubrimientos científicos y las nuevas tecnologías. Los creadores y supervisores de la tecnología MG aplicada a las plantas y los microorganismos, debieran cerciorarse de que sus esfuerzos atiendan esas necesidades.

Mediante el uso de la tecnología MG es factible producir alimentos más nutritivos, estables en almacenamiento y, en principio, promotores de la salud (trayendo beneficios por igual a los consumidores de los países industrializados y en vías de desarrollo).

Se requieren nuevos esfuerzos, por parte del sector público, para crear cultivos transgénicos que beneficien a los agricultores de escasos recursos de los países en vías de desarrollo y faciliten el acceso de éstos a los alimentos mediante la producción, con mano de obra intensiva, de cultivos básicos como maíz, arroz, trigo, yuca (mandioca), camote (ñame), sorgo, plátano macho (cambur) y batata (boniato). Se necesita el esfuerzo cooperativo de los sectores público y privado para desarrollar nuevos cultivos transgénicos que beneficien a los consumidores, sobre todo a los del mundo en vías de desarrollo.

Deben hacerse esfuerzos concertados y organizados para investigar los posibles efectos ambientales (tanto positivos como negativos) de las tecnologías MG en cada una de sus aplicaciones específicas. Dicho efectos deben ser evaluados comparándolos con los causados por las tecnologías agrícolas ordinarias en uso actual.

Es necesario implantar sistemas reguladores de salud pública en cada país, para identificar y hacer un seguimiento de cualquier efecto potencial adverso de las plantas transgénicas contra la salud humana, como se hace para cualquier otra nueva variedad vegetal.

Las corporaciones privadas e instituciones de investigación deberían establecer acuerdos para compartir la tecnología MG (que está controlada actualmente por medio de patentes y acuerdos de licencia sumamente estrictos) con científicos responsables, que la utilicen para aliviar el hambre y promover la seguridad alimenticia de los países en vías de desarrollo. Además, conviene que los agricultores de escasos recursos del mundo entero cuenten con exenciones especiales para protegerlos de las restricciones inadecuadas en cuanto a la propagación de sus cultivos.

LA NECESIDAD DE LA TECNOLOGÍA MG EN LA AGRICULTURA

Hoy día, debido principalmente a la pobreza y el desempleo, existen alrededor de 800 millones de personas (18% de la población del mundo en vías de desarrollo) que no tienen acceso a la cantidad de alimentos suficiente para satisfacer sus necesidades (Pinstrup-Anderson y Pandya-Lorch 2000; Pinstrup-Anderson y cols. 1999). La desnutrición es un factor importante en la mitad de los casi 12 millones de muertes de niños menores de cinco años que se registran anualmente en los países en vías de desarrollo (UNICEF 1998). Aparte de la falta de alimento, las deficiencias de micronutrientes (sobre todo de vitamina A, yodo y hierro) están generalizadas. Por si fuera poco, las fluctuaciones de los patrones climáticos mundiales y los cambios de uso de la tierra, irán agudizando los problemas de producción y la demanda regional de alimentos. Si queremos atender esas necesidades, será imprescindible lograr avances muy importantes en cuanto a producción, distribución y disponibilidad

de alimentos. Algunos de esos avances serán resultado de tecnologías no relacionadas con la MG, pero otros podrían basarse en las ventajas que nos ofrecen las tecnologías MG.

Para lograr el crecimiento mínimo necesario en la producción mundial total de alimentos básicos (maíz, arroz, trigo, yuca [casava o mandioca], camote [ñame], sorgo, papa [patata] y batata [camote dulce o boniato]) sin aumentar más la superficie terrestre cultivada, requeriremos aumentos considerables en el rendimiento por hectárea. Asimismo, será imprescindible elevar la producción de otros cultivos como las legumbres, el mijo, el algodón, el nabo (colza, canola), los plátanos (bananos) y el plátano macho (cambur).

Es importante aumentar el rendimiento de la tierra sometida actualmente a cultivo intensivo. Sin embargo, el incremento de la producción es sólo un miembro de la ecuación. La generación de ingresos (sobre todo en las regiones de escasos recursos), aunada a una distribución más eficaz de las reservas alimenticias, son igualmente, si no es que aún más importantes. Las tecnologías MG son relevantes en ambos aspectos de la seguridad alimenticia.

Según se estima, en los países en vías de desarrollo, aproximadamente 650 millones de las personas más pobres del mundo viven en regiones rurales donde la producción local de alimentos es la principal actividad económica. Sin una agricultura productiva, esta gente no tendrá, ni empleo, ni los recursos necesarios para tener una vida mejor. El trabajo de la tierra, en particular de las parcelas pequeñas, es el motor del progreso de las comunidades rurales, sobre todo en los países menos desarrollados.

La domesticación de plantas para uso agrícola fue un proceso de largo plazo que tuvo profundas consecuencias evolutivas en muchas especies. Uno de sus resultados más valiosos, fue la creación de una diversidad de plantas que satisfacen necesidades humanas. Mediante el uso de esa reserva de variabilidad genética por medio de selección y cruzamiento, la "Revolución

verde" produjo muchas variedades que se utilizan actualmente en el mundo entero. Este trabajo, llevado a cabo en su mayor parte por instituciones de investigación financiadas con recursos públicos, dio por resultado las variedades agrícolas actuales de alto rendimiento. Un buen ejemplo de esa mejora selectiva fue la introducción de genes "enanos" en el arroz y el trigo, mismos que, al ser acompañados con aplicaciones de fertilizantes, aumentaron de manera impresionante el rendimiento de los cultivos alimenticios tradicionales de la India, China y otros países. A pesar de los éxitos del pasado, la tasa de incremento de la producción de alimentos ha ido últimamente en retroceso (el aumento del rendimiento, que en la década de 1970 era de 3% anual, disminuyó en la de 1990 a cerca de 1% anual) (Conway y Toennissen 1999). Aún se registran graves pérdidas agrícolas debido a factores bióticos (p.ej., plagas y enfermedades) y abióticos (p.ej., salinización y sequías). Asimismo, la diversidad genética de algunas plantas de cultivo ha disminuido y existen varias especies que carecen de parientes silvestres con las que puedan entrecruzarse. Hoy en día, existen menos opciones que antes para resolver los problemas actuales por medio de las técnicas tradicionales de fitomejoramiento, aunque se reconoce que dichas técnicas seguirán siendo importantes en el futuro.

La opción de aumentar la superficie terrestre destinada a la producción agrícola sin ocasionar un serio impacto en el ambiente y los recursos naturales es limitada. La agricultura moderna ha incrementado la producción de alimentos, pero introdujo también el uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes que son muy costosos y pueden afectar la salud humana o dañar los ecosistemas. Uno de los grandes retos que enfrenta actualmente la humanidad, es cómo aumentar la producción mundial de alimentos y el acceso de la gente a los mismos, lo que requiere una producción local de alimentos básicos mediante el uso intensivo de mano de obra, sin agotar aún más los recursos no renovables y sin provocar daños ambientales. En otras palabras, ¿cómo podemos avanzar hacia prácticas agrícolas sustentables que no dañen la salud y el bienestar económico de las generaciones presentes y futuras? Para pensar en términos de una agricultura

sustentable, se deben identificar los factores responsables del deterioro del suelo, el agua y el ambiente, y tomar las medidas correctivas apropiadas.

La investigación sobre cultivos transgénicos, al igual que la mejora tradicional de plantas por cruzamiento y selección que llevan a cabo los agricultores, apunta de manera selectiva a la alteración, introducción o eliminación de ciertos caracteres elegidos de las plantas, teniendo en cuenta las necesidades y oportunidades regionales. No sólo nos ofrece la posibilidad de introducir características deseables presentes en otras variedades de la misma planta, sino además, la de agregar caracteres procedentes de especies no emparentadas con ella. A partir de ese momento, la planta transgénica se convierte en una progenitora que puede usarse para las cruces tradicionales. La modificación de características cuantitativas y cualitativas como la composición de proteínas, almidones, grasas o vitaminas, mediante modificaciones de las vías metabólicas, ya se ha logrado en algunas especies. Tales modificaciones aumentan el valor nutritivo de los alimentos y podrían ayudar, en el caso de ciertas características, a mejorar la salud humana porque alivian la desnutrición y la mala nutrición. Se ha demostrado, asimismo, el potencial de la tecnología MG para resolver deficiencias de micronutrientes y por lo tanto, en reducir el gasto nacional y los recursos necesarios para poner en marcha los programas actuales de complementación (Texas A&M University 1997). Son muy raros los casos en que estos problemas de nutrición se han resuelto con los métodos tradicionales de fitomejoramiento.

Las plantas transgénicas con caracteres tan importantes como la resistencia a las plagas y herbicidas, son sumamente necesarias cuando no se ha detectado resistencia inherente en las especies locales. Se está investigando intensamente lo relativo al desarrollo de resistencia contra enfermedades virales, bacterianas y micóticas; la modificación de la estructura (p.ej., la altura) y el desarrollo (p.ej., la floración o producción de semillas tardía o temprana) de las plantas; la tolerancia al estrés abiótico (p.ej., la salinidad y la sequía); la producción de sustancias

químicas industriales (recursos renovables basados en las plantas); y el uso de la biomasa de las plantas transgénicas para la creación de fuentes de combustible nuevas y sustentables. Entre los beneficios de las plantas transgénicas en estudio están: mayor flexibilidad para administrar el cultivo, menor dependencia de los insecticidas químicos y la perturbación del suelo, mayores rendimientos, facilidad de cosecha y mayor proporción de ésta para su comercialización. Para el consumidor, esto significa menor costo del alimento y más valor nutritivo.

Gran parte de la agricultura del mundo en vías de desarrollo se encuentra en manos de agricultores en pequeño cuyos intereses deben ser tomados en cuenta. Las preocupaciones que se tienen en cuanto a la tecnología MG, van desde el posible impacto de ésta sobre la salud humana y el medio ambiente, hasta cuestiones relacionadas con el monopolio del sector privado sobre la tecnología. Es esencial atender esas preocupaciones si es que deseamos aprovechar los beneficios potenciales de esta nueva tecnología.

Concluimos que es necesario tomar medidas, a fin de atender la necesidad urgente de métodos sustentables para la producción agrícola del mundo, si es que queremos satisfacer las demandas de una población mundial en constante crecimiento, sin destruir el ambiente o la base de recursos naturales. En particular, podría recurrirse a la tecnología MG, en conjunto con avances importantes en otras áreas, para aumentar la producción de los principales cultivos alimenticios básicos, mejorar la eficiencia de esa producción, reducir el impacto ambiental de la agricultura y lograr que los agricultores en pequeño tengan acceso a una cantidad de alimentos suficiente.

EJEMPLOS DE TECNOLOGÍA MG QUE PODRÍAN BENEFICIAR A LA AGRICULTURA MUNDIAL

Hasta la fecha, la tecnología MG ha servido, más que nada, para producir varios cultivos agrícolas con características "dictadas por el mercado", algunas de las cuales han alcanzado el éxito comercial. El desarrollo de variedades producidas comercialmente en países como Estados Unidos y Canadá, se ha enfocado en aumentar la vida en anaquel de las frutas y verduras, conferir resistencia contra virus o insectos y conferir tolerancia a herbicidas específicos. Aunque estas características han resultado benéficas para los agricultores, ha sido difícil lograr que los consumidores vean algún beneficio como no sea, en casos limitados, un mejor precio debido al abatimiento de los costos y la mayor facilidad de producción (Nelson y cols. 1999; Falck-Zepeda y cols. 1999).

Una posible excepción es el desarrollo de tecnología MG para retrasar la maduración de las frutas y verduras, lo que permite tenerlas almacenadas por más tiempo. Los agricultores se beneficiarían con este avance al disponer de mayor flexibilidad en cuanto a producción y cosecha. Los consumidores también se beneficiarían al poder adquirir frutas y verduras, como los jitomates transgénicos modificados para que se ablanden más lentamente que las variedades tradicionales, lo que significa mayor duración en almacenamiento, menor costo de producción, más calidad y menos precio. Existe la posibilidad de que los agricultores de los países en vías de desarrollo se beneficien considerablemente con los cultivos que maduran o se ablandan lentamente, pues eso podría darles mayor flexibilidad para la distribución de la que disponen actualmente. En muchos casos, los agricultores en pequeño sufren graves pérdidas debido a la maduración o reblandecimiento excesivos o descontrolados de sus frutas o verduras.

El verdadero potencial de la tecnología MG para ayudar a resolver algunos de los problemas más graves de la agricultura mundial acaba de empezar a ser explorado. Los siguientes ejemplos nos mostrarán cómo puede aplicarse la tecnología MG en algunos problemas agrícolas específicos en los que indicamos los beneficios potenciales.

Resistencia a las plagas

Obviamente, los agricultores se beneficiarían si se desarrollan plantas transgénicas resistentes a plagas específicas. Por ejemplo, en Hawaii se han estado vendiendo y plantando, desde 1996, papayos resistentes a la mancha anular viral de la papaya (Gonsalves 1998). Por otra parte, el ambiente también se beneficiaría al aminorar el uso de plaguicidas. Los cultivos transgénicos que contienen genes de resistencia a los insectos, procedentes de *Bacillus thuringiensis*, han hecho posible reducir considerablemente la cantidad de insecticida que se le aplica al algodón en Estados Unidos. En un análisis, por ejemplo, se demostró que hubo una reducción de dos millones de hectáreas tratadas en 1999, es decir, un millón de kilogramos de insecticidas químicos, en comparación con 1998 (U.S. National Research Council 2000). Sin embargo, las poblaciones de plagas y organismos fitopatógenos se adaptan rápidamente y se vuelven resistentes a los plaguicidas, y no existen razones para suponer que no ocurrirá lo mismo, y con la misma rapidez, en el caso de las plantas transgénicas. Además, los biotipos de las plagas varían de una región a otra. Por ejemplo, es probable que los cultivos resistentes a insectos diseñados para Estados Unidos y Canadá tengan resistencia a plagas que no ocasionan problemas en los países en vías de desarrollo, y esto ocurre por igual en las plantas transgénicas y en las desarrolladas por medio de técnicas de cruzamiento ordinarias. Incluso en el caso de que los mismos genes de resistencia a los insectos o los herbicidas sean útiles en varias regiones, normalmente es necesario introducirlos en cultivares adaptados a las condiciones locales. Por lo tanto, se requieren más investigaciones sobre las plantas transgénicas que se han vuelto resistentes a plagas locales, a fin de evaluar su sustentabilidad frente a un aumento en las presiones de selección para plagas cada vez más virulentas.

Mejora del rendimiento

Una de las principales tecnologías que desembocaron en la "Revolución verde", fue la creación de variedades de trigo semienanas de alto rendimiento. Los genes responsables de esa reducción de altura fueron los genes japoneses NORIN 10 introducidos en los trigos occidentales durante la década de 1950 (genes del enanismo insensibles a la giberelina). Estos genes tenían dos ventajas: producían una planta más corta y fuerte, que respondía bien a la aplicación de más fertilizante sin colapsarse; y aumentaban directamente el rendimiento al reducir la elongación celular de las partes vegetativas de la planta, de modo que ésta invertía más energía en las partes reproductivas comestibles. Estos genes fueron aislados en fechas recientes, y se demostró que actúan exactamente de la misma manera cuando se les utiliza para transformar otras especies de plantas agrícolas (Peng y cols. 1999). Hoy por hoy, esta técnica de enanismo puede utilizarse para aumentar la productividad de cualquier planta agrícola cuyo rendimiento económico se encuentre en las partes reproductivas, en vez de en las vegetativas.

Tolerancia al estrés biótico y abiótico

La creación de cultivos con resistencia intrínseca al estrés biótico y abiótico, ayudaría a estabilizar la producción anual. Por ejemplo, el virus de la mancha amarilla del arroz (RYMV) devasta los arrozales africanos al destruir directamente la mayor parte del cultivo, con un efecto secundario en las plantas sobrevivientes, a las que vuelve más vulnerables a las infecciones micóticas. Como resultado, este virus ha puesto en serio peligro la producción arrocera de África. Los métodos ordinarios de control del RYMV, que se basan en las técnicas tradicionales de cruzamiento, no han logrado introducir la resistencia de

las especies silvestres en el arroz cultivado. Los investigadores han recurrido a una nueva técnica, que imita la "inmunización genética", al crear plantas de arroz transgénicas que son resistentes al RYMV (Pinto y cols. 1999). Actualmente, las variedades transgénicas resistentes están a punto de ser sometidas a pruebas de campo con el fin de evaluar la eficacia de su resistencia al RYMV. Esta podría ser la solución del riesgo de colapso total de las regiones arroceras del sub-Sahara africano.

Podríamos dar muchos otros ejemplos para ilustrar la gama de las investigaciones científicas actuales, como las plantas transgénicas modificadas para combatir el virus de la mancha anular de la papaya (Souza 1999), las papas resistentes al tizón (Torres y cols. 1999) y arroz resistente al tizón bacteriano de la hoja (Zhai y cols 2000), o como ejemplo de un factor abiótico, plantas modificadas para producir un exceso de ácido cítrico en las raíces que, de ese modo, toleran mejor el aluminio presente en los suelos ácidos (de la Fuente y cols. 1997). Estos ejemplos tienen un claro potencial comercial, pero será imprescindible, si es que queremos obtener los máximos beneficios, que la investigación de tecnología MG siga financiada con recursos públicos. Por ejemplo, pese a que la tecnología MG nos da acceso a nuevas pozas genéticas donde se encuentran fuentes de resistencia, será necesario demostrar que dichas fuentes serán más estables que las fuentes de resistencia intraespecíficas usadas de manera ordinaria.

Uso de tierras marginales

Una inmensa extensión de la superficie terrestre del planeta, tanto en las costas como en el interior de los continentes, se considera marginal porque es excesivamente salina o alcalina. Ya se logró identificar, clonar y transferir a otras plantas un gen de tolerancia a la sal presente en el mangle negro (*Avicennia marina*). Según se ha visto, las plantas transgénicas toleran mayores

concentraciones de sal. Asimismo, el gen *gutD*, de *Escherichia coli*, ha servido para generar plantas de maíz transgénicas que toleran la sal (Liu y cols 1999). Estos genes representan una fuente potencial para el desarrollo de sistemas agrícolas que permitan el uso de las tierras marginales (M.S. Swaminathan, com. pers. 2000).

Beneficios en cuanto a nutrición

La deficiencia de vitamina A es causa de que medio millón de niños queden parcial o totalmente ciegos cada año (Conway y Toennissen 1999). Los métodos tradicionales de mejora de plantas no han logrado producir cultivos que contengan altas concentraciones de vitamina A, de modo que la mayoría de los gobiernos dependen de costosos y complejos programas de complementación para atender este problema. Los investigadores han introducido tres nuevos genes en el arroz: dos de ellos proceden del narciso y uno de cierto microorganismo. El arroz transgénico exhibe mayor producción de beta-caroteno, el precursor de la vitamina A, y la semilla es de color amarillo (Ye y cols. 2000). Este arroz amarillo o dorado, puede ayudar a resolver el problema de la deficiencia de vitamina A entre los niños de las regiones tropicales.

La fortificación con hierro es necesaria porque los cereales son deficientes en micronutrientes esenciales como este metal. La deficiencia de hierro provoca anemia en las mujeres embarazadas y los niños pequeños. Por consiguiente, cerca de 400 millones de mujeres en edad reproductiva sufren de esta afección y tienen mayores riesgos de muerte fetal o de parir niños con muy bajo peso, así como una mayor probabilidad de muerte por parto. La anemia ha sido identificada como un factor de riesgo en más de 20% de los casos de muerte posparto en Asia y África (Conway 1999a, b). Mediante el uso de genes relacionados con la síntesis de una proteína fijadora de hierro y con la producción de una enzima que facilita la absorción del hierro presente en los

alimentos humanos, se produjo un arroz transgénico con altas concentraciones de hierro (Goto y cols. 1999; Lucca 1999). Estas plantas contienen de dos a cuatro veces más hierro que el arroz no transgénico, pero queda pendiente investigar su asimilación biológica.

Menor impacto ambiental

La disponibilidad y el uso eficiente del agua se han convertido en temas de importancia mundial. Los suelos sometidos a labores de labranza intensa (arado) para el control de las malezas y la preparación del suelo, son propensos a la erosión y sufren una grave pérdida de agua. Las comunidades tradicionales han recurrido por muchos años a sistemas de labranza mínima. Existe la necesidad de crear cultivos que prosperen en tales condiciones, incluyendo la introducción de resistencia a enfermedades de las raíces que se controlan actualmente por medio de la labranza, así como de herbicidas que puedan ser utilizados en vez de la labranza (Cook 2000). Según se ha visto en los países más desarrollados, la tecnología MG es una herramienta útil para introducir resistencia a las enfermedades radiculares en condiciones de labranza mínima. Sin embargo, será necesario un cuidadoso análisis de tipo costo-beneficio, a fin de asegurar el logro del máximo provecho. Asimismo, será necesario evaluar minuciosamente las diferencias regionales en cuanto a técnicas agrícolas, así como el impacto potencial de la sustitución de un cultivo tradicional por uno nuevo de tipo transgénico.

Otros beneficios de las plantas transgénicas

Las variedades transgénicas de primera generación han beneficiado a muchos agricultores en forma de menores costos de producción, mayores rendimientos o

ambas cosas. En muchos casos, también han beneficiado al ambiente porque reducen el uso de plaguicidas o permiten la siembra de cultivos con menos actividades de labranza. Los insectos ocasionan enormes pérdidas agrícolas en el campo y en los productos cosechados que se encuentran en tránsito o almacenamiento, pero las preocupaciones en cuanto a la salud de los consumidores y el impacto ambiental, han limitado el registro de muchos plaguicidas químicos prometedores. Los genes de resistencia a las plagas, cuando son introducidos cuidadosamente en los cultivos para evitar la selección futura de resistencia a las plagas, constituyen alternativas con las que puede reducirse el uso de plaguicidas químicos en muchos cultivos importantes. Además, reducir la contaminación de nuestros alimentos por parte de patógenos que constituyen riesgos de salud por la vía alimenticia (p.ej., las micotoxinas), sería benéfico para los agricultores y consumidores por igual.

Fármacos y vacunas procedentes de plantas transgénicas

Existen vacunas contra muchas de las enfermedades que le provocan grandes sufrimientos e incluso la muerte a numerosas personas en los países en vías de desarrollo, pero su producción y aplicación son normalmente muy costosas. Casi todas las vacunas deben ser almacenadas en condiciones de refrigeración, y para su aplicación se depende de especialistas debidamente capacitados, lo que se suma a los gastos. En algunos países, incluso el costo de las agujas para inyectar las vacunas puede ser prohibitivo. Por consiguiente, suele suceder que las vacunas no llegan a quienes más las necesitan. Actualmente, los investigadores están estudiando el potencial de la tecnología MG para la producción de vacunas y fármacos por medio de plantas. Esto significaría un acceso más fácil, una producción más económica y una manera alternativa de generar ingresos. Ya se han producido vacunas contra enfermedades infecciosas del aparato digestivo en plantas como la papa y el plátano (banano)

(Thanavala y cols. 1995). Otro objetivo adecuado serían los cereales. Recientemente se logró expresar, en semillas de arroz y trigo, un anticuerpo contra el cáncer que reconoce células cancerosas de pulmón, mama y colon y que, por lo tanto, puede ser útil para el diagnóstico y la terapia en lo futuro (Stoger y cols. 2000). Estas tecnologías se encuentran en una fase aún muy temprana de su desarrollo, y será necesario investigar las preocupaciones obvias en cuanto a la salud humana y la seguridad ambiental durante su producción, antes de que dichas plantas sean aprobadas como cultivos especiales. No obstante, la creación de plantas transgénicas para la producción de sustancias terapéuticas tiene un enorme potencial como una manera de ayudar a resolver los problemas de enfermedad en los países en vías de desarrollo.

Casi una tercera parte de las medicinas que se utilizan actualmente se derivan de las plantas, uno de los ejemplos más famosos es el de la aspirina (la forma acetilada de un producto natural de las plantas, el ácido salicílico) Se cree que menos de 10% de las plantas medicinales han sido identificadas y caracterizadas, y existe la posibilidad de utilizar la tecnología MG de tal manera que aumente los rendimientos de las sustancias medicinales una vez identificadas. Por ejemplo, las valiosas sustancias contra el cáncer vinblastina y vincristina son los únicos medicamentos aprobados para el tratamiento del linfoma de Hodgkin. Ambas se derivan de la vincapervinca (hierba doncella) de Madagascar, que las produce en muy pequeñas concentraciones junto con 80 a 100 compuestos químicos muy similares. Por consiguiente, la producción de estos compuestos terapéuticos es sumamente costosa. En la actualidad se están llevando a cabo investigaciones intensivas con el fin de descubrir el potencial de la tecnología MG en cuanto se refiere a incrementar las concentraciones de compuestos activos o permitir su producción en plantas más fáciles de cultivar que la vincapervinca (Leech y cols. 1998).

Es nuestra recomendación que la investigación y desarrollo de cultivos transgénicos debiera enfocarse en plantas que: (i) aumenten la estabilidad de la producción; (ii) le aporten beneficios nutritivos al consumidor; (iii) reduzcan el impacto ambiental de la agricultura intensiva y extensiva; y (iv) faciliten la producción de fármacos y vacunas; al mismo tiempo que (v) se desarrollen protocolos y reglamentos que aseguren que los cultivos transgénicos diseñados para satisfacer necesidades no alimenticias, como la producción de compuestos farmacéuticos, sustancias químicas industriales, etc., no se difundan o mezclen con otros cultivos alimenticios transgénicos o no transgénicos.

LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS EN RELACIÓN CON LA SALUD Y LA SEGURIDAD HUMANAS

Por medio de las técnicas clásicas de fitomejoramiento, los cultivos agrícolas actuales se han vuelto considerablemente distintos de sus parientes silvestres. Muchos de estos cultivos eran originalmente menos productivos y, en algunos casos, inadecuados para el consumo humano. Con el paso de los años, la aplicación de las técnicas tradicionales de cruzamiento y selección a tales cultivos, dio por resultado plantas con mayor productividad y valor nutritivo. El advenimiento de la tecnología MG ha impulsado aún más ese desarrollo. Hasta la fecha se han cultivado más de 30 millones de hectáreas de cultivos transgénicos, y no se ha identificado un solo problema de salud humana relacionado específicamente con la ingestión de cultivos transgénicos o sus productos. Sin embargo, se han planteado muchas preocupaciones potenciales a partir del surgimiento de la tecnología MG a principios de la década de 1970. Esas dudas se han enfocado en la probabilidad de que se presenten reacciones alérgicas a los productos alimenticios, la probable introducción o aumento de producción de sustancias tóxicas como resultado de la tecnología MG y el uso

de la resistencia a los antibióticos como marcadores en el proceso de transformación.

Sugerimos hacer el máximo esfuerzo por evitar la introducción de alérgenos conocidos a los cultivos alimenticios. La información acerca de los probables alérgenos y las toxinas naturales de las plantas debería estar a disposición de los investigadores, la industria, las autoridades reguladoras y el público en general. Con el fin de facilitar tal esfuerzo, podrían crearse bases de datos públicas que faciliten el acceso de todas las partes interesadas en esa información.

Los métodos tradicionales de fitomejoramiento, suelen recurrir a amplias cruizas con especies silvestres emparentadas con las domésticas, y esto puede significar un largo proceso de retrocruizas con el progenitor doméstico a fin de eliminar los genes indeseables. Una característica de la tecnología MG es que consiste en la introducción de uno, o cuando mucho unos cuantos genes bien identificados (en vez de la introducción de genomas enteros o partes de cromosomas, como sucede en el cruzamiento tradicional de las plantas). Esto hace que las pruebas de toxicidad de las plantas transgénicas sea más fácil que la de las plantas con nuevos caracteres producidas con los métodos ordinarios, pues resulta mucho más claro cuáles son las nuevas características de la planta modificada. Por otro lado, la tecnología MG permite introducir genes procedentes de diversos organismos, algunos de los cuales no tienen relación alguna con la producción de alimentos humanos.

Las decisiones relacionadas con la seguridad deberían basarse en la naturaleza del producto, no en el método de modificación que lo produjo. Es importante tener presente que muchas de las plantas agrícolas que utilizamos actualmente contienen toxinas y alérgenos naturales. El potencial de efectos tóxicos o alérgicos en los seres humanos, debería ser evaluado minuciosamente en el caso de cualquier proteína nueva producida en plantas que tengan la posibilidad

de formar parte de alimentos o forrajes. Los riesgos de salud relacionados con los alimentos, así como la manera de reducirlos, son tema de preocupación para todos los países, muy independientemente de cualquier preocupación en cuanto se refiere a la tecnología MG.

A partir del surgimiento de la tecnología MG, los investigadores han utilizado los genes de resistencia a los antibióticos como marcadores selectivos del proceso de modificación genética. Se ha externado la preocupación de que el uso generalizado de tales genes en las plantas pudiera aumentar la resistencia de los patógenos humanos a los antibióticos. La kanamicina, uno de los marcadores de resistencia más comúnmente usados para la transformación de plantas, sigue utilizándose para el tratamiento de las siguientes infecciones humanas: infecciones de huesos, aparato respiratorio, piel, tejidos blandos y abdomen, así como infecciones complicadas de las vías urinarias, endocarditis, septicemia e infecciones por enterococos.

Actualmente, los científicos cuentan con medios para eliminar esos genes marcadores antes de que la planta agrícola sea desarrollada para uso comercial (Zubko y cols. 2000). Así pues, los investigadores deberían actuar rápidamente para eliminar esos marcadores de las plantas transgénicas y sustituirlos con marcadores alternativos para la selección de nuevas variedades. No existen pruebas definitivas de que esos genes de resistencia a los antibióticos sean nocivos para los seres humanos, pero debido a la preocupación pública, todas las personas que intervengan en la creación de plantas transgénicas deberían actuar con celeridad a fin de eliminar el uso de tales marcadores.

En última instancia, ninguna prueba creíble que los científicos o las instituciones reguladoras aporten influirá en la opinión pública, a menos que el público confíe en dichas instituciones y en los mecanismos que regulan tales productos.

Es nuestra recomendación: (i) que se establezcan sistemas regulatorios de salud pública en todos y cada uno de los países, con el fin de identificar y

supervisar cualquier efecto nocivo potencial de las plantas transgénicas, así como se hace para cualquier variedad nueva, en la salud humana. Tales sistemas deben mantenerse totalmente flexibles y adaptarse a los rápidos avances del conocimiento científico. Al crear esos sistemas, deberá tenerse presente la posibilidad de que existan efectos adversos de largo plazo. Para esto será necesario coordinar los esfuerzos de las naciones, compartir experiencias y estandarizar algunos tipos de evaluación de riesgos relacionados específicamente con la salud humana; (ii) que la información acerca de cómo reglamentar la producción de alimentos y la seguridad de los mismos esté a disposición del público.

LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS Y EL AMBIENTE

La agricultura moderna es intrínsecamente destructora del ambiente. En particular, devasta la diversidad biológica, sobre todo cuando se practica de manera ineficiente en cuanto al uso de los recursos o cuando significa la aplicación de tecnologías que no están adaptadas a las características ambientales (suelos, laderas o zonas climáticas) de cierta región. Y esto ocurre por igual en la agricultura de pequeña y de gran escala. La aplicación generalizada de tecnologías agrícolas ordinarias como herbicidas, plaguicidas, fertilizantes y labores de labranza, ha dado por resultado graves daños ambientales en muchas partes del mundo. Por lo tanto, será necesario evaluar los riesgos ambientales de las nuevas tecnologías MG comparándolos con los riesgos de seguir utilizando tecnologías convencionales y otras técnicas de cultivo en uso común.

Ciertas prácticas agrícolas que se utilizan en algunas partes del mundo en vías de desarrollo tienden a conservar la diversidad biológica. Esto se logra sembrando simultáneamente un conjunto de variedades del mismo cultivo y mezclándolas con otros cultivos secundarios, de modo que se mantenga una

comunidad vegetal muy diversa (Toledo y cols. 1995; Nations y Nigh 1981; Whitmore y Turner 1992).

Casi todas las preocupaciones ambientales relacionadas con la tecnología MG de las plantas se deben a la posibilidad de un flujo genético hacia los parientes cercanos de la planta transgénica, a los posibles efectos indeseables de los genes o caracteres foráneos (p.ej., resistencia a los insectos o tolerancia a los herbicidas) y al posible efecto en otros organismos.

Así como se ha procedido al implementar otras tecnologías nuevas, es justificable ser cuidadosos antes de llevar al mercado un producto comercial. Deberá demostrarse que el impacto potencial de una planta transgénica ha sido cuidadosamente analizado, y que si éste no es neutral o inocuo, al menos es preferible que el impacto de las tecnologías agrícolas ordinarias para cuyo reemplazo fue diseñada (Campbell y Cooke 1993; May 1999; Toledo y cols. 1995).

En vista del uso limitado de las plantas transgénicas en el mundo y de las condiciones geográficas y ecológicas relativamente limitadas de su liberación, la información concreta acerca de sus efectos reales sobre el ambiente y la diversidad biológica, aún es muy escasa. Por consiguiente, no hay consenso en lo que se refiere a la gravedad o incluso a la existencia de cualquier posible daño ambiental de la tecnología MG. Existe la necesidad, por lo tanto, de efectuar evaluaciones de riesgo muy completas en cuanto a las probables consecuencias de todas las variedades de plantas transgénicas desde una etapa muy temprana de su desarrollo, así como de un sistema de seguimiento que permita evaluar esos riesgos en las pruebas de campo y liberaciones subsecuentes.

Las evaluaciones de riesgo requieren información básica previa, incluyendo la biología y ecología de la especie, la identificación de especies emparentadas con ella y los nuevos caracteres resultantes de la tecnología MG, así como datos

ecológicos relevantes acerca del (o los) sitio(s) donde se pretenda liberar la planta transgénica. La recopilación de esos datos es sumamente difícil en los ambientes con gran diversidad. En particular, es necesario poner atención en los centros de origen o diversidad de las plantas cultivadas, pues allí habrá muchos parientes silvestres a los que pueden transmitirse los nuevos caracteres (Ellstrand y cols. 1999; Mikkelsen y cols. 1996; Scheffer y cols. 1993; Van Raamsdonk y Schouten 1997). En caso de que el ambiente sea especial, pueden crearse plantas transgénicas mediante el uso de tecnologías que reduzcan al mínimo las posibilidades de flujo genético por medio del polen, así como sus efectos en los parientes silvestres, mediante el uso de métodos de esterilidad masculina o una herencia materna basada en la transformación del cloroplasto (Daniell 1999; Daniell y cols. 1998; Scott y Wilkinson 1999).

Hasta ahora, los estudios sobre la transferencia de genes desde las plantas ordinarias y transgénicas hacia sus parientes silvestres y otras plantas del ecosistema, se han concentrado en especies de importancia económica como el trigo, la colza oleaginosa y la cebada. La ausencia virtual de datos, sobre todo de especies como el maíz, impone la necesidad de vigilar de manera cuidadosa y continua cualquier posible efecto de las nuevas plantas transgénicas en el campo (Hokanson y cols. 1997; Daniell y cols. 1998). Además, existe una necesidad constante de investigar las tasas de transferencia genética de los cultivos tradicionales a las especies nativas (Ellstrand y cols. 1999).

Al hacer el seguimiento de una liberación experimental en pequeña escala de algún cultivo transgénico, deberían considerarse las siguientes cuestiones, aparte de atender las preocupaciones específicas relacionadas con el ambiente de la localidad en particular:

- a. ¿La existencia de una planta transgénica con resistencia a cierta plaga o enfermedad en particular, exacerba el surgimiento de nuevas plagas o enfermedades resistentes y este problema resulta peor que el ocasionado por la alternativa tradicional? (Riddick y Barbosa 1998; Hillbeck y cols. 1998; Birch y cols. 1999).

- b. Si hay transferencia de caracteres hacia las variedades silvestres (p.ej., tolerancia a la salinidad, resistencia a las enfermedades, etc.), ¿la expansión del nicho de tales especies suprimiría la diversidad biológica en las áreas circundantes?
- c. ¿El uso extendido de plantas tolerantes al estrés traería en consecuencia un aumento considerable en la utilización de la tierra en lugares donde previamente la agricultura era imposible, de tal manera que quizás se destruyan ecosistemas naturales valiosos?

Las evaluaciones de riesgo que se lleven a cabo, deberán ser estandarizadas para las plantas introducidas por primera vez a un nuevo ambiente. La mayoría de los países cuentan ya con procedimientos para la aprobación y liberación local de nuevas variedades de cultivos agrícolas. Aunque tales evaluaciones se basan principalmente en el comportamiento agronómico de las nuevas variedades en comparación con las existentes, este proceso de aprobación podría ser la base o el modelo para un proceso de evaluación de riesgo más formal, cuyo fin fuera investigar el posible riesgo ambiental de las nuevas variedades, incluyendo las que poseen transgenes.

Históricamente, la pobreza y el cambio estructural de las regiones rurales han dado por resultado un grave deterioro del ambiente. La adopción de biotecnologías modernas no debería acelerar ese deterioro. Por el contrario, tendría que ser utilizada de tal manera que disminuya la pobreza y los efectos nocivos de ésta sobre el ambiente.

Es nuestra recomendación: (i) que se hagan esfuerzos coordinados para investigar los posibles efectos ambientales, tanto positivos como negativos, de las tecnologías de plantas transgénicas en cada una de sus aplicaciones específicas; (ii) que todos los efectos ambientales de dichas plantas fuesen evaluados mediante una comparación con los efectos de los métodos agrícolas ordinarios que se utilizan actualmente en los lugares donde se desarrolló o sembró el cultivo transgénico; y (iii) que se promoviese la conservación *in situ* y *ex situ* de los recursos genéticos para la agricultura, de modo que se garantice la disponibilidad generalizada de variedades ordinarias y transgénicas como germoplasma para la mejora de plantas en el futuro.

FONDOS FINANCIEROS PARA LA INVESTIGACIÓN DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS: EQUILIBRIO ENTRE LOS SECTORES PÚBLICO Y PRIVADO

El sector público y diversas fundaciones filantrópicas se encargaron de financiar la investigación nacional e internacional de cultivos durante el periodo de la posguerra, lo que desembocó en la duplicación o triplicación de los rendimientos agrícolas en grandes partes de Asia y Latinoamérica, así como avances en el índice de empleo y la nutrición de los países en vías de desarrollo. Las plantas enanas de trigo y arroz, así como otras variedades de alto rendimiento que fueron el centro de esta "Revolución Verde", cubrieron las necesidades de millones de agricultores y consumidores de escasos recursos.

Sin embargo, el punto de equilibrio en cuanto al origen de los recursos financieros para esta clase de investigación, ha cambiado de manera significativa durante la última década, del sector público al privado, y se ha registrado una reducción correspondiente en la capacidad de investigación agrícola nacional no comercial que es necesario revertir. No obstante, aún existe investigación agrícola considerable en el sector público, sobre todo en Norteamérica, Australia, Europa, China, India y Brasil, así como en el sistema llamado *Consultative Group for International Agricultural Research* (CGIAR). El sistema CGIAR consta de 16 centros internacionales de investigación cuyos intereses incluyen el maíz y el trigo (México), el arroz (Filipinas), la papa (Perú) y el mijo y el sorgo (India), pero el apoyo financiero para el CGIAR ha ido declinando en términos reales. Pese a que aún se están llevando a cabo investigaciones básicas en el sector público, la aplicación estratégica, en marcado contraste respecto a la "Revolución Verde", tiene lugar principalmente en el sector privado, que controla gran parte de la propiedad intelectual. En tales circunstancias, las prioridades de investigación son dictadas por las fuerzas del mercado (es decir, los índices de precios). Las compañías generan productos cuyos costos sean recuperables en el mercado. No obstante, también

existen productos que benefician a la sociedad en su conjunto, en vez de servir a los individuos, y cuyo costo no puede recuperarse en el mercado (los llamados bienes públicos). Para esa clase de trabajo en beneficio de la sociedad, se necesitan recursos financieros públicos (Stiglitz 1993). Un ejemplo clásico de esta clase de bienes públicos, sería una planta mejorada que los agricultores pudiesen propagar con poco deterioro, como sucede con los cultivos que se autopolinizan (p.ej., el trigo y el arroz) o se propagan en forma vegetativa (p.ej., la papa). Si la investigación necesaria para el mejoramiento de esos cultivos se dejara en manos de los mercados normales para el aprovisionamiento privado, dichos mercados estarían desabastecidos de manera sistemática. Este es un patrón típico.

La razón principal de que los donadores de recursos financieros y las fundaciones filantrópicas apoyen la investigación agrícola internacional, es la de asegurar que se investiguen bienes públicos que sean igualmente relevantes para los agricultores en pequeño y los complejos ambientes tropicales y subtropicales. Si tales investigaciones fueran totalmente privadas, incluso en un mercado en perfecto funcionamiento, la demanda de productos innovadores por parte de los consumidores opulentos rebasaría, por su propia naturaleza, el poder adquisitivo de los consumidores de escasos recursos y los agricultores en pequeño.

Dada la limitación de los recursos de que disponen para la investigación hasta la fecha, los sectores no comerciales (el sector público y las fundaciones filantrópicas) han logrado más de lo que podría haberse esperado (p.ej., arroz con mayor contenido de beta-caroteno y arroz resistente al virus de la mancha amarilla).

Es nuestra recomendación: (i) que los gobiernos reconocieran plenamente que siempre habrá investigación dedicada a producir bienes o satisfacer intereses públicos y que ésta requiere inversión pública, incluso en las economías dictadas por el mercado; es imperativo, asimismo, que el financiamiento público de las investigaciones en este campo, se mantenga al menos en su nivel actual,

tanto en el CGIAR como en las instituciones nacionales de investigación; (ii) que los gobiernos, así como las organizaciones internacionales y las instituciones de asistencia foránea, reconocieran que la investigación en genómica de plantas es un sujeto legítimo e importante de financiamiento público, y que los resultados de tales investigaciones quedaran en el dominio público; (iii) que se generen, con carácter urgente, formas innovadoras y vigorosas de colaboración entre los sectores público y privado, si es que se quiere que los beneficios de las tecnologías MG alcancen a todos los habitantes del mundo; (iv) que se establezcan incentivos para alentar a las compañías comerciales de investigación a compartir con el sector público una mayor parte de su capacidad de innovación; y (v) que se tenga cuidado para que la investigación no se inhiba con la presencia de regímenes de propiedad intelectual excesivamente proteccionistas.

AUMENTO DE CAPACIDAD

El desarrollo de mayor capacidad en el campo de las ciencias relacionadas con las plantas, es una prioridad absoluta de todos los programas nacionales de investigación. Esto es necesario porque solamente la mejora de las plantas locales puede atender las peculiaridades de los ambientes agrícolas regionales y sólo las iniciativas locales pueden tomar en cuenta las preferencias culturales de cada lugar. A medida que crezca nuestro conocimiento, es muy probable que la transferencia de genes y funciones genéticas de uno a otro cultivo, y de uno a otro ambiente agrícola, sea cada vez más fácil. No obstante, si se desea que esos genes se incorporen a variedades adaptadas, probadas, seguras y eficientes, será necesario contar con una capacidad permanente de investigación local. Esta necesidad es la misma ya sea que los genes se transmitan mediante tecnologías MG o técnicas tradicionales de cruzamiento. Los centros de investigación internacionales (patrocinados por el CGIAR) y los programas de investigación nacionales deberían asociarse con institutos de investigación avanzada a fin de multiplicar sus esfuerzos por extender las

nuevas tecnologías MG a cultivos como plátano, plátano macho, frijol, sorgo, trigo, maíz, yuca y papa, que son recursos alimenticios importantes en muchos países. Asimismo, estos centros deberían asumir el liderazgo para el establecimiento de alianzas con instituciones de investigación avanzada y estratégica, tanto públicos como privados, a fin de garantizar la transferencia de tecnologías apropiadas. Además, será conveniente apoyar las nuevas tecnologías de comunicación para facilitar el libre intercambio de conocimientos y métodos entre las comunidades agrarias y las comunidades de investigación agrícola del mundo.

Si deseamos que la agricultura mundial, en particular la de los países en vías de desarrollo, se beneficie con las ventajas potenciales de la tecnología MG, será importante promover un aumento de la capacidad en la administración de riesgos. Para que tal aumento de capacidad pueda llevarse a cabo de manera eficaz, los siguientes objetivos deberán incluirse:

- a. Acumular suficientes recursos humanos de tipo científico y técnico en cada país, para que éste tenga la capacidad de evaluar los beneficios y riesgos relativos de la tecnología MG;
- b. Fortalecer la infraestructura local y mundial;
- c. Supervisar y evaluar los efectos de corto, mediano y largo plazo de las plantas transgénicas y compartir los datos con los países interesados;
- d. Crear técnicas sencillas para distinguir rápida y confiablemente entre las plantas transgénicas y no transgénicas cuando sea necesario.

Es nuestra recomendación: (i) que los gobiernos nacionales tomen las medidas necesarias para fomentar su capacidad interna, con el fin de facilitar la puesta en marcha de directrices o reglamentos de bioseguridad; (ii) que los países generen y/o refuercen sus planes de acción, instalaciones, sistemas de información y formación de recursos humanos en biotecnología (incluyendo la evaluación y administración de riesgos y procedimientos de bioseguridad), con el fin de desarrollarla, transferirla y aplicarla de manera segura; (iii) que los países involucrados en el desarrollo, aplicación, liberación o producción de plantas transgénicas contarán con medios para evaluar y administrar los

posibles riesgos y beneficios de las mismas; (iv) que tal como se contempló en el recién acordado Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad de la ONU, se integre un amplio organismo internacional que mantenga y difunda una base de datos pública en la que se consignen las nuevas variedades liberadas, así como la información acerca de su comportamiento en los distintos ambientes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

Hoy por hoy, la biotecnología industrial está orientada principalmente hacia las necesidades de la agricultura comercial de gran escala, en vez de hacia las del campesino que hace una agricultura de subsistencia. La mayoría de los países en vías de desarrollo carecen de recursos financieros suficientes y cuentan con menor infraestructura científica que la necesaria para crear sus propios programas de biotecnología y mejorar los cultivos de mayor importancia para alimentar a su población. La prolongada disminución en la investigación agrícola pública, la privatización creciente de las tecnologías MG y el hincapié cada vez mayor en los cultivos y las prioridades de las naciones industrializadas, no son un buen presagio para lograr alimentar a las poblaciones cada vez más numerosas de los países en vías de desarrollo. Como se hizo notar previamente, si los incentivos para que se comparta el acceso a las tecnologías MG no cambian, es poco probable que el mundo destine una parte significativa de sus esfuerzos de investigación para mejorar la nutrición y la producción, basada en la mano de obra intensiva, de cultivos alimenticios básicos para la gente pobre. La aplicación de las técnicas de investigación genómica moderna a las especies de plantas, nos promete una explosión de nuevos conocimientos e información, que podría desembocar en novedosos e importantes avances de la producción agrícola, así como en la calidad, cantidad y variedad de productos alimenticios. El logro de estos dependerá en buena medida de la investigación financiada con recursos públicos y privados, así como de los esfuerzos de desarrollo de las compañías comerciales que cuentan con el respaldo de inversionistas privados. Tal como sucede en otras áreas biotecnológicas, es muy probable que los

derechos de propiedad intelectual tengan un papel importante en lo que se refiere a garantizar la recuperación económica de las inversiones intelectuales y financieras que posibilitan la investigación y el desarrollo de nuevos productos. Un aspecto importante de tales derechos de propiedad intelectual, cuando se trata de inventos y descubrimientos producto de la investigación genómica y otras aplicaciones de la biotecnología, es que no deberían otorgarse derechos de propiedad intelectual excesivamente amplios. La concesión de tales derechos entorpecería la investigación y el desarrollo posterior de productos. Conviene ajustar estrechamente los derechos de propiedad intelectual, de modo que éstos sean proporcionales al alcance real de los nuevos inventos y descubrimientos y no entorpezcan la continuidad de la investigación, la innovación y el desarrollo. En vista de lo anterior, es importante evaluar el impacto de los derechos de propiedad intelectual en los países en vías de desarrollo. Para que las nuevas variedades de plantas beneficien a las crecientes poblaciones de dichos países, será necesario desarrollarlas por medio de una variedad de fuentes, incluyendo: (i) agricultores que seleccionen las plantas que se comportan mejor en su localidad y guarden la semilla para uso o venta futuros; (ii) instituciones de investigación públicas o *pro bono*, financiadas por medio de recursos fiscales o donaciones filantrópicas, que desarrollen variedades mejoradas y las proporcionen a los usuarios adecuados de manera gratuita o a precio de costo; y (iii) compañías con fines de lucro interesadas en crear nuevos productos y mercados que permitan desarrollar variedades novedosas, financiadas con las ganancias obtenidas de la venta de semillas. Como instrumentos de planes de acción pública, los regímenes de propiedad intelectual deberían facilitar al máximo la innovación, en cuanto al desarrollo de nuevas variedades agrícolas benéficas se refiere, por medio de recursos individuales, públicos o corporativos y promover la colaboración en materia de investigación.

En particular, debería ponerse atención en los convenios internacionales que pudiesen afectar la innovación agrícola. Entre otros convenios, vale la pena mencionar el *Trade Related Intellectual Property* (TRIP, o Propiedad intelectual

en materia comercial), la legislación de patentes, la protección de variedades de plantas y la Convención sobre Diversidad Biológica. Para ser eficaces, esos convenios tendrían que ser congruentes entre sí, de modo que existieran pocas discrepancias en lo que se refiere a promover la innovación por parte de agricultores, instituciones de investigación públicas y corporaciones con fines de lucro. En el momento actual, parece que muchos países en vías de desarrollo rehusan la firma de convenios internacionales de propiedad intelectual de plantas, porque están convencidos de que esos convenios crearán un sistema que favorecerá marcadamente al sector corporativo (con menoscabo de los esfuerzos del sector público y privado apoyados por su propia ciudadanía). En realidad, muchos de los derechos de propiedad intelectual que se han concedido hasta la fecha en los países desarrollados, corresponden a las herramientas utilizadas para la investigación y el desarrollo de nuevas variedades de plantas transgénicas. Si los derechos que restringen el uso de esas herramientas son implantados de manera enérgica y universal (y si su empleo no se generaliza por medio de licencias o convenios *pro bono* en los países en vías de desarrollo) es poco probable que las aplicaciones potenciales de las tecnologías MG antes descritas beneficien a los países menos desarrollados del mundo, al menos por largo tiempo (es decir, hasta que expiren las restricciones otorgadas por esos derechos).

Hoy en día, las compañías privadas pueden obtener variedades de plantas en forma gratuita solicitándoselas a los agricultores o a instituciones no comerciales como el CGIAR, agregándoles una o más características propietarias y lanzándolas al mercado como semillas que gozan de una variedad de formas de protección legal o técnica contra la copia, la conservación en manos del agricultor o la transferencia de un campesino a otro. Por lo tanto, existe un sistema de mercado que se basa en parte en las contribuciones gratuitas de los agricultores e instituciones como el CGIAR. Esto hace que los avances de investigación se concentren marcadamente en compañías que, por tener una búsqueda legítima de utilidades, se olvidan de enfocar esa investigación en

asuntos como la pobreza y la sustentabilidad de largo plazo. Las plantas transgénicas han intensificado el dilema, porque para crearlas se requiere un alto grado de capacitación e infraestructura. Además, algunas compañías han recibido patentes sumamente amplias, lo que asegura su competitividad en el mercado. Si se quiere compensar este desequilibrio, será necesario fortalecer la investigación del sector público por medio de los agricultores, el CGIAR y los sistemas nacionales de investigación agrícola y darles a éstos mayor atención y recursos (por parte del gobierno y de los científicos en materia agrícola del mundo). Además, esas instituciones del sector público deberían tramitar los derechos de propiedad intelectual de sus descubrimientos, de modo que tales derechos puedan ser utilizados para negociar con el sector privado y, de ese modo, aumentar el beneficio público.

La agricultura intensiva exige el uso de semilla certificada (es decir, semilla libre de patógenos, plagas y malezas), de modo que los agricultores acostumbran comprar su simiente año tras año. La mayoría de los agricultores plantan variedades híbridas de maíz y otros cultivos, pues éstas son más uniformes y vigorosas que las variedades ordinarias debido a la heterosis (o vigor híbrido), pero esas ventajas se pierden al usar la semilla de la segunda generación.

Además, algunos agricultores trabajan sujetos a los términos de un contrato suscrito con las empresas procesadoras de alimentos, quienes requieren normas de calidad específicas, de modo que es imprescindible el uso de nueva semilla cada año. Sin embargo, en el caso de algunos cultivos (p.ej., la soya) muchos agricultores conservan parte de la cosecha y la utilizan como simiente por varios años (reutilización de la semilla), hasta que los bajos rendimientos los obligan a comprar nueva semilla.

No siempre conviene usar parte de la cosecha como semilla, ya que ésta puede estar contaminada de plagas y patógenos. En los países en vías de desarrollo es frecuente que se intente proporcionar a los agricultores semilla limpia a precio económico como parte de los programas gubernamentales. Sin embargo, en muchos casos, los campesinos en pequeño no pueden darse el lujo de comprar

semilla nueva todos los años, por lo que procuran apegarse a su antigua costumbre de guardar parte de la cosecha anual y usarla como semilla al año siguiente. Históricamente, la fecundidad y la reproducción de los cereales han tenido un profundo significado espiritual en África, Asia y partes de América. Se acostumbra intercambiar semillas libremente, así como entregarlas a los viajeros que proceden de tierras lejanas. Sea como sea, resulta claro que los agricultores de los países en vías de desarrollo tienen una firme convicción de que es su derecho decidir si utilizan su propia semilla o si compran simiente certificada nueva (Nuffield Council on Bioethics 1999). En este aspecto, el público en general suele inclinarse marcadamente a favor de los campesinos.

A fin de asegurar la recuperación financiera de sus inversiones, muchas compañías biotecnológicas productoras de semillas han intentado impedir el uso de la semilla de segunda generación resultante de cultivos transgénicos. Por ejemplo, a los agricultores que adquieren semillas de plantas transgénicas, se les exige con frecuencia la firma de un contrato que les prohíbe expresamente la práctica de conservar y sembrar semilla de segunda generación.

Es probable que, a la larga, la forma más eficaz de protección de la propiedad intelectual de las semillas resulte ser tecnológica. Un ejemplo específico de este fenómeno, que ha sido causa de grandes controversias, es la solicitud de patente de una invención en la que los caracteres deseables de las plantas transgénicas sólo se expresan mediante la aplicación de cierto activador químico a las semillas o las plantas (GURT, del inglés *Genetic Use Restriction Technology*; nosotros utilizaremos las siglas TRUG, o tecnología restrictiva del uso genético) (Oliver y cols. 1995). Esta tecnología consiste en dar un tratamiento químico a las semillas o las plantas, cuyo efecto es inhibir o activar genes específicos relacionados con la germinación. Una de esas tecnologías se basa en un sistema complejo de tres genes, uno de los cuales sintetiza una proteína que interfiere en el desarrollo normal de la planta e impide la germinación de la semilla. La expresión de este gen tiene lugar mediante la aplicación de tetraciclina (u otras sustancias químicas), lo que impide que una

proteína inducida reprima la expresión del gen de una recombinasa. Una vez que la recombinasa se expresa, después de la aplicación de tetraciclina, se elimina una secuencia de bloqueo situada entre un promotor transitoriamente activo y el gen "asesino", lo que permite la expresión de la proteína letal para el embrión de la planta. Así pues, la semilla que se le vendiese a los agricultores sería tratada previamente con tetraciclina u otras sustancias químicas (cobre, esteroides, etc.).

La mayoría de los expertos están de acuerdo en que aún quedan muchos problemas técnicos por resolver, y que las TRUG tardarán varios años en salir a la venta. La posible comercialización de tecnología TRUG (a la que se ha dado el nombre de "tecnología exterminadora") para regular el uso de las semillas de plantas transgénicas, ha suscitado un intenso debate público. Por un lado, los agricultores, sobre todo los oriundos de países en vías de desarrollo, defienden su derecho a conservar y sembrar semillas de segunda generación. Por otro, las compañías productoras de semillas buscan recuperar sus inversiones y de ese modo, seguir invirtiendo en nuevas tecnologías. Ambas partes, así como el público en general, tienen mucho que arriesgar en estos asuntos. Existe la clara necesidad de una resolución que sirva a los intereses públicos más amplios.

En una TRUG alternativa, los caracteres transgénicos se expresarían únicamente después de aplicarle a las semillas o las plantas un activador químico específico. En este caso, aunque los agricultores se reservaran el derecho de conservar su propia semilla, no tendrían acceso a los caracteres benéficos a menos que pagaran los activadores químicos.

Las TRUG tienen aplicaciones potencialmente benéficas para los consumidores, los agricultores y el ambiente, que no deben ser pasadas por alto en los debates sobre los derechos de propiedad intelectual. Por ejemplo, la TRUG puede utilizarse para impedir que los transgenes pasen a las plantas silvestres estrechamente emparentadas con el cultivo al impedir la germinación de las semillas cruzadas. Además, cabe la posibilidad de que esta tecnología permita eliminar el problema de las plantas "voluntarias" que surgen de las semillas que

quedan tiradas en el campo después de la cosecha. La eliminación de las plantas voluntarias antes de la siembra del siguiente cultivo, se hace necesaria porque éstas son huéspedes de plagas y patógenos que pueden anular los beneficios resultantes de la rotación de cultivos. Tal como sucede con cualquier otro regulador del crecimiento que le sea aplicado a los cultivos, existen posibles riesgos ambientales y de salud humana relacionados con el uso de activadores químicos (p.ej., tetraciclina, cobre o esteroides) y será necesario atenderlos. Otras de las preocupaciones suscitadas por el uso de la TRUG, son de orden económico y tienen que ver con los derechos de propiedad intelectual y el monopolio de la producción de plantas transgénicas por compañías particulares. **Es indispensable que los beneficios potenciales de la tecnología MG estén al alcance de los países en vías de desarrollo. Con ese fin, es nuestra recomendación que: (i) dondequiera que sea apropiado, se permita a los agricultores conservar semilla para uso futuro (reutilización de semilla), si es que así lo desean; se averigüe, mediante investigaciones con patrocinio público, cuáles son las virtudes y limitaciones de la reutilización de semilla y los resultados de dichas investigaciones queden a disposición libre de las partes interesadas; (ii) no se concedieran derechos amplios de propiedad intelectual o de secuencias de ADN, si no se ha hecho una invención verdadera, ya que sofocan la investigación y el desarrollo; (iii) se identificaran y esclarecieran las posibles discrepancias entre convenios internacionales, como los relativos a derechos de patente y la Convención sobre Diversidad Biológica; (iv) las instituciones de investigación establecieran asociaciones entre los países industrializados y en vías de desarrollo, de modo que los beneficios de la investigación, así como las aplicaciones y la concesión de tecnologías MG, estén más al alcance de otros; y (v) se creara un comité internacional asesor, encargado de evaluar los intereses de las compañías privadas y los países en vías de desarrollo, en todo lo referente a la generación y uso de plantas transgénicas que beneficien a la gente pobre (no sólo para facilitar la resolución de los problemas de derecho de propiedad intelectual que surjan, sino también**

para identificar las áreas de oportunidad e interés común entre el sector privado y las instituciones del sector público).

BIBLIOGRAFÍA

- Birch**, A.N.E. y cols. (1999). *Molecular Breeding* 5: 75-83.
- Campbell**, L.H. y A.S Cooke (eds.). (1997). The Joint Nature Conservation Committee, Report 227, Inglaterra.
- Conway**, G. (1999a). *The Doubly Green Revolution: Food for All in the 21st Century*. Londres: Penguin Books.
- Conway**, G. (1999b). *Biotechnology, Food & Drought*. En: Proceedings of the World Commission on Water, Nov 1999.
- Conway**, G. y G. Toenniessen. (1999). *Nature* 402 (6761): Suplemento, C55-58.
- Cook**, R.J. (2000). En: *Agricultural Biotechnology and the Poor*, actas de una conferencia internacional, Washington, D.C., 21 a 22 de Octubre de 1999, págs. 123-130 (G.J. Persley y M.M. Lantin, eds). Washington, D.C. Consultative Group on International Agricultural Research.
- Daniell**, H. (1999). *Trends in Plant Science* 4: 467-469.
- Daniell**, H. y cols. (1998). *Nature Biotechnology* 16: 345-348.
- de la Fuente**, J.M. y cols. (1997). *Science* 276 :1566-1568.
- Ellstrand**, N.C. y cols. (1999). *Annual Review of Ecology and Systematics* 30: 539-563.
- Falck-Zepeda**, J. B. y cols. (1999). *International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications* 14: 17.
- Gonsalves**, D. (1998). *Annual Review of Phytopathology* 36: 415-437.
- Goto**, F. y cols. (1999). *Nature Biotechnology* 17: 282-286.
- Hillbeck**, A. y cols. (1998). *Environmental Entomology* 27: 480-487.
- Hokanson**, S.C. y cols. (1997). *Euphytica* 96: 397-403.
- James**, C. (1999). *Global status of Commercialized Transgenic crops: 1999*. ISAAA Briefs No. 12. Ithaca, Nueva York.
- Leech**, M.J. y cols. (1998). *Plant Molecular Biology* 38: 765-774.
- Liu**, Y. y cols. (1999). *Science in China. Series C, Life Sciences* 42: 90-95.
- Lucca**, P. (1999). En: *Proceedings of General Meeting of the International Program on Rice Biotechnology*, 20 a 24 de Septiembre de 1999, Phuket, Tailandia.
- May**, R. (1999). *Genetically modified foods: facts, worries, policies and public confidence*. Office of Science and Technology, Gobierno del Reino Unido: Inglaterra.
- Mikkelsen**, T. y cols. (1996). *Nature* 380: 31.
- Nations**, J.D. y R.B. Nigh. (1981). *Journal of Anthropological Research* 36: 1-30.
- Nelson**, G.C. y cols. (1999). *The economics and politics of genetically modified organisms in agriculture: implications for WTO 2000*. Illinois, EE.UU. University of Illinois at Urbana-

Champaign, Bulletin 809, Noviembre de 1999.

Nuffield Council on Bioethics. (1999). *Genetically Modified Crops: the ethical and social issues.* Nuffield Council on Bioethics: Londres, Inglaterra.

Oliver, M.J. y cols. (1995). *Control of Plant Gene Expression.* United States Patent No. 5,723,765.

Peng, J.R. y cols. (1999). *Nature* 400: 256-261.

Pinstrup-Anderson, P. y cols. (1999). *World food prospects: critical issues for the early 21st Century.* International Food Policy Research Institute. Washington, D.C., EE.UU.

Pinstrup-Anderson, P. y R. Pandya-Lorch. (2000). *Meeting food needs in the 21st century: how many and who will be at risk?* Presentado en la Reunión Anual de la AAAS, Febrero 2000, Washington, D.C., EE.UU.

Pinto, Y.M. y cols. (1999) *Nature Biotechnology* 17: 702-707.

Riddick, E.W. y P. Barbosa. (1998). *Annals of the Entomological Society of America* 91: 303-307.

Scheffler, J. y cols. (1993). *Transgenic Research* 2: 356-364.

Scott, S.E. y M.J. Wilkinson. (1999). *Nature Biotechnology* 17: 390-392.

Souza, M.T., Jr. (1999). *Analysis of the resistance in genetically engineered papaya against papaya ringspot potyvirus, partial characterization of the PRSV. Brazil. Bahia isolate and development of transgenic papaya for Brazil.* Disertación doctoral en Cornell University, EE.UU.

Stiglitz, J. E. (1993). *Economics.* Nueva York: Editorial W.W. Norton.

Stoger, E. y cols. (2000). *Plant Molecular Biology* 42: 583-590.

Texas A&M University. (1997). *Comments to Plant Pesticides Resistance Management,* Audiencia llevada a cabo el 21 de Mayo de 1997 en College Station, Texas por la *United States Environmental Protection Agency.* Docket OPP-0478.

Thanavala, Y. y cols. (1995). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 92: 3358-3361.

Toledo, V.M. y cols. (1995). *Interciencia* 20: 177-187.

Torres, A.C. y cols. (1999). *BIOTECNOLOGIA - Ciencia & Desenvolvimento* 2: 74-77.

UNICEF. (1998). *The state of the world's children 1998: focus on nutrition.* Naciones Unidas: Nueva York, EE.UU, Oxford University Press.

U.S. National Research Council. (2000). *Genetically modified pest-protected plants: science and regulation.* Págs 33-35. Washington, D.C., EE.UU. National Academy Press.

Van Raamsdonk, L.W.D. y cols. (1997). *Acta Botanica Neerlandica* 46: 69-84.

Whitmore, T.M. y B.L. Turner. (1992). *Annals of the Association of American Geographers* 82: 402-425.

Ye, X. y cols. (2000). *Science* 287:303-305.

Zhai, W. y cols. (2000). *Science in China (Serie C)* 43: 361-368.

Zubko, E.C. y cols. (2000). *Nature Biotechnology* 18: 442-445.

MEMBRESÍA DEL GRUPO DE TRABAJO Y METODOLOGÍA

Las siguientes personas participaron en la elaboración del presente informe en representación de las Academias de Ciencias de Brasil, la Academia de Ciencias de China, la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, la Academia Mexicana de Ciencias, la Academia Nacional de Ciencias de la India, la *Royal Society of London* (Inglaterra) y la *U.S. National Academy of Sciences*. La elaboración del informe requirió de dos reuniones con sede en *la Royal Society*, Londres, Inglaterra, llevadas a cabo en julio de 1999 y febrero de 2000, y de un continuo intercambio de ideas transmitidas a través de correo electrónico que abarcó el período de julio de 1999 a julio de 2000. Este mecanismo permitió discutir con detalle todos los asuntos contemplados en el texto. El Presidente de ambas reuniones fue el Profr. Brian Heap FRS y la secretaria, la Dra. Rebecca Bowden.

Academia de Ciencias de Brasil

En el grupo de trabajo:

Dr. Ernesto Paterniani

Dr. Fernando Perez

Profr. Fernando Reinach

Profr. Jose Galizia Tundisi

Academia de Ciencias de China

En el grupo de trabajo:

Profr. Zhihong Xu

Profr. Rongxiang Fang

Profr. Qian Yingqian

Academia de Ciencias del Tercer Mundo

En el grupo de trabajo:

Profr. Muhammad Akhtar FRS

Academia Mexicana de Ciencias

En el grupo de trabajo:

Biól. Jorge Larson

Dr. Jorge Nieto Sotelo

Dr. José Sarukhán

Academia Nacional de Ciencias de la India

En el grupo de trabajo:

Profr. R.P. Sharma

Profr. S.K. Sopory

Revisores en nombre del Consejo:

Profr. P.N. Tandon, Presidente

Dr. H.K. Jain

Dr. Manju Sharma

Dr. R.S. Paroda

Dr. Anupam Varma

Srita. Suman Sahai

Dr. J. Thomas

Profr. K. Muralidhar

The Royal Society of London

En el grupo de trabajo:

Sir Aaron Klug OM PRS

Profr. Michael Gale FRS

Profr. Michael Lipton

Revisado y aprobado por el Consejo de la *Royal Society*.

The U.S. National Academy of Sciences

En el grupo de trabajo:

Profr. Bruce Alberts

Profr. F. Sherwood Rowland

Profr. Luis Sequeira

Profr. R. James Cook

Profr. Alex McCalla

Sr. John Campbell (funcionario de la Delegación de la *National Academy of Sciences*).