

La contribución de las biotecnologías a la alimentación

Albert Sasson

UNESCO - 7, Place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia. Telf: (33-1) 45 68 12 42;
Fax: (33-1) 45 68 55 19; E-mail: a.sasson@unesco.org

RESUMEN

El crecimiento de la población mundial y el mejoramiento del estándar de vida, hacen que se incremente la demanda de productos alimenticios y, por consiguiente, es necesario que aumente la producción agrícola. La mecanización de la producción, la introducción de productos químicos y el mejoramiento genético de los cultivos, han tenido un impacto importante en el rendimiento de la agricultura, pero las dos primeras requieren una gran inversión de capital. Por esta razón, estos adelantos tecnológicos han beneficiado fundamentalmente a los países desarrollados. En consecuencia, la alternativa más factible es el mejoramiento genético de las plantas y, con la participación inevitable de las biotecnologías, se podrían resolver los problemas de resistencia a plagas y a enfermedades, y a factores de estrés abiótico, como la sequía, el frío, la salinidad, el agotamiento de los suelos, entre otros. Estos factores adversos son los que tienen mayor repercusión en las pérdidas considerables que afectan cada año a la agricultura.

Palabras claves: agricultura, alimentación, biotecnología, cultivos transgénicos, mejoramiento genético

Biotecnología Aplicada 2000;17:1-6

REVISIÓN

ABSTRACT

The Contribution of Biotechnologies to Food Production. Population growth and the rising trend of the standards of living increase the demand for food and, therefore, make it necessary to increase agricultural production. The mechanization of farm labor, the introduction of chemical products and the genetic engineering of plants have had an important impact on crop yield, but the latter require large capital investments. That is the reason why they have mostly benefited the developed countries. As a consequence, the genetic engineering of plants is the most feasible alternative. And, with the inevitable contribution of biotechnologies, problems related to plant resistance to pests, diseases, and abiotic stress—drought, cold, salinity, and poor soils, etc.—, could be solved. These adverse factors have had the heaviest impact on the considerable losses faced by agriculture every year.

Keywords: agriculture, biotechnology, food, genetic engineering, transgenic crops

El desafío de la alimentación

La producción global de alimentos per cápita aumentó significativamente durante el período 1948-1998. Es notable que esto ocurriera mientras la población mundial se duplicaba hasta alcanzar la cifra de 6 000 000 000 de personas en 1999. La mecanización de la producción, la introducción de productos químicos y el mejoramiento genético de los cultivos, han sido las tres “eras” coincidentes más importantes de impacto tecnológico en la producción de alimentos. Las dos primeras requieren una inversión de capital intensiva y constante, por lo que han beneficiado principalmente a los desarrollados. El mejoramiento genético de los cultivos es una tecnología que requiere un alto grado de conocimiento. La “revolución verde”, que ha aumentado de forma considerable la producción de cereales en todo el mundo, demuestra que, tanto los países en vías de desarrollo como los desarrollados, adoptan rápidamente las técnicas del mejoramiento genético [1].

Es probable que la población mundial alcance 7 000 000 000 de habitantes en el año 2010 y 8 000 000 000 en el 2025 (incluidas 3 500 000 000 de personas en las zonas urbanas). Además de satisfacer el aumento de la demanda de alimentos como resultado de este crecimiento de la población, el incremento de la producción de alimentos tendrá que satisfacer el aumento del consumo alimentario per cápita debido al mejoramiento del estándar de vida. Se calcula que, en

el año 2025, habrá que aumentar la producción de alimentos en al menos 50%. Es necesario aumentar la producción de cereales en 41%; la de carne, en 63%; y la de raíces y tubérculos comestibles, en 40%. Sin embargo, sólo se deberá roturar 5,5% más de suelos vírgenes en los próximos veinte años. La conclusión inevitable es que, para poder satisfacer la demanda, la humanidad tendrá que aumentar el rendimiento de las áreas sembradas de cereales —que representan las dos terceras partes de la energía total de la dieta humana—, a un nivel mundial medio de 4 t por hectárea, aproximadamente el doble de su valor en 1999 [2]. Además, este incremento tendrá que ser el resultado de la utilización de menos tierra, menos agua y menos plaguicidas. Varios factores bióticos y abióticos de estrés, y varias condiciones desfavorables de después de la cosecha, también dan lugar a pérdidas significativas en la producción agrícola.

Por lo tanto, se necesitan variedades de cultivo con rendimientos potenciales mayores y más estables, y mejores formas de manejo, con el propósito de lograr dos objetivos: aumentar la productividad y el sustentamiento de los cultivos. Las estrategias de mejoramiento genético deben centrar su atención en el incremento del rendimiento potencial de los cultivos a través de los procedimientos convencionales de mejoramiento y selección; en el rediseño del idiotipo de los cultivos para alcanzar un mayor índice de cosecha; en

Tomado del libro *Cultivos transgénicos: hechos y desafíos*, actualmente en proceso de preparación por la editorial Elfos Scientiae, La Habana, 2000.

Selected from the Monograph *Transgenic Cultures: Facts and Challenges*, currently under edition by Elfos Scientiae, Havana, 2000.

la explotación de la heterosis; en la ampliación del fondo de genes mediante la hibridación intra e interespecífica; y en la modificación de procesos fisiológicos como, por ejemplo, alcanzar una eficiencia fotosintética elevada, una baja fotorrespiración, un nivel mayor de ribulosa-1,5-difosfato-carboxilasa oxigenasa por unidad de proteína foliar y una mayor biosíntesis de almidones. La estabilidad de los rendimientos se debe aumentar mediante la incorporación de resistencia múltiple a insectos y a enfermedades, y mediante la inducción de tolerancia a factores de estrés abiótico como la sequía, el frío, la anegación y la escasez de nutrientes en los suelos. La productividad de los cultivos también se puede incrementar mediante el desarrollo de variedades con menor período de crecimiento, para aumentar la intensidad de la cosecha; mayor capacidad de incorporación y utilización de los nutrientes; mayor fijación biológica de nitrógeno y una calidad superior después de la cosecha. El mejoramiento del manejo desempeñará un papel vital en el incremento de la productividad de los cultivos. Se debería poner énfasis en el manejo integrado de plagas y nutrientes, en el manejo de las malas hierbas, en el control y la utilización adecuados del agua, el cuidado de la calidad de los suelos y la rotación favorable de los cultivos [3].

La contribución de la biotecnología y el sistema "agrocéutico"

En relación con la contribución de la biotecnología al incremento y al mejoramiento de la producción alimentaria, se debería enfatizar que las biotecnologías se basan, en gran medida, en la genética. Las biotecnologías se han sido aplicado con éxito en la creación de cultivos con características fenotípicas como la resistencia a insectos, virus y herbicidas. En realidad, los primeros resultados de las biotecnologías agrícolas ya se encuentran en los campos, y proporcionan los rasgos agronómicos que les permiten a los agricultores incrementar sus cultivos con los consiguientes beneficios económicos. Además, los agricultores pueden contribuir a una agricultura más sustentable en la medida en que utilicen menos productos químicos, conserven la capa vegetal de los suelos y reduzcan el consumo de combustibles fósiles. La segunda oleada de las biotecnologías agrícolas va más allá de los rasgos agronómicos y aborda los rasgos cualitativos (o de producción). Estos últimos cambiarán la naturaleza misma del cultivo, por lo que la producción y el suministro de alimentos se afectarán en mayor grado. A través de la tercera oleada de biotecnologías agrícolas, las plantas podrán proporcionar fuentes renovables de una amplia gama de productos, en especial los farmacéuticos. La posibilidad de mejorar las propiedades beneficiosas para la salud de los productos agrícolas, ha aumentado el interés en los productos "nutriciocéuticos". Los investigadores han desarrollado estrategias para aumentar las cantidades de compuestos esenciales bien establecidos como la vitamina A. En general, se pueden esperar progresos más rápidos en los casos en que el metabolismo pueda ser modificado a través de la adición de uno o dos genes nuevos. Si el producto deseado es el compuesto final de una ruta metabólica larga —que pudiera no estar presente en la planta donde será

producido—, es probable que transcurra algún tiempo antes de que se tenga éxito [4]. Las oleadas biotecnológicas segunda y tercera están siendo guiadas por adelantos en la genómica, que, por primera vez, enlaza la agricultura con la alimentación y la salud. Los logros más importantes en la tecnología de información y en la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos, permiten ahora clasificar la información genética para buscar soluciones potenciales de una forma mucho más rápida [5].

Según Ray Goldberg [6], de la Escuela de Posgrados en Administración de Negocios, de la Universidad de Harvard, los agricultores contribuyeron apenas con 32% del valor añadido en 1950. En el año 2028, los agricultores aportarán sólo 10%. El procesamiento de los alimentos y su distribución representaron la mitad del valor añadido de 1950, pero en el 2028 justificarán más de 80%. El sistema "agrocéutico" comprende a los participantes habituales de la cadena de distribución de alimentos, pero también se extiende más allá. La parte proveedora comienza ahora con los participantes que generan y suministran la información genética y bioquímica fundamental subyacente. Compañías como Celera (Perkin-Elmer y el Instituto de Investigaciones Genómicas, creadas por Craig Venter, Bethesda, Maryland, E.U.A.), Millenium Plant Genetics (Cambridge, Massachusetts, E.U.A.) y Ceres (Davis, California, E.U.A.), están centrando su atención en el descubrimiento, el mapeo y la secuenciación de genes humanos, de plantas, de ganado, y de sus patógenos.

En la década de 1980, las compañías productoras de compuestos químicos para la agricultura, contrataron mejoradores de plantas y absorbieron compañías productoras de semillas, para obtener lo que entonces era la próxima generación de contribuciones de la agricultura: las características genéticas disponibles para el mejoramiento de las plantas a través de la tecnología del ADN recombinante. En el mismo período, las compañías farmacéuticas se reorganizaron tanto interna como externamente, para aprovechar las oportunidades que surgieron de forma repentina a partir de las herramientas que la biología molecular ofreció para estudiar las enfermedades. En la segunda mitad de la década de 1990, se formaron las compañías de las ciencias de la vida. Los mercados de negocios como Novartis A.G.; E.I. DuPont de Nemours & Co., Inc.; Monsanto Co.; Astra-Zeneca plc.; AgrEvo A.G.; Dow AgroSciences; Aventis —fusión con Hoechst A.G. y Rhône-Poulenc— y American Home Products Corp., comprenden muchos aspectos de la salud y el bienestar personal, desde los alimentos hasta los productos farmacéuticos, los de diagnóstico y las vacunas [6]. El propósito de estas compañías no es sólo conquistar el mercado agrícola (semillas y productos químicos de uso agrícola) —que tiene un valor de unos treinta y cinco mil millones de dólares estadounidenses (1998), incluidos las semillas y los productos de protección de las plantas—, sino también variar los procedimientos de procesamiento de los alimentos a través de la modificación genética de la materia prima agrícola, para satisfacer los requerimientos especiales de la industria alimentaria. Otro de los objetivos es extender sus actividades al mercado farmacéutico, cuyas transacciones comerciales ascienden a cerca de doscientos cincuenta

mil millones de dólares estadounidenses, ya sea directamente o a través de la obtención de productos “nutriciocióticos” como, por ejemplo, los comestibles con propiedades medicinales [7].

Para los consumidores, los supermercados son el eslabón más cercano de la cadena, los cuales se ajustan al panorama “agricéutico” debido a que dejaron de ser tan sólo abacerías glorificadas. En 1998, por ejemplo, los supermercados representaron una fracción importante (11%) de las ventas de medicamentos prescritos directamente a los consumidores en los Estados Unidos. Además, ha habido asociaciones empresariales experimentales en las que los supermercados han trabajado estrechamente con los hospitales, los médicos individuales y las compañías de manejo de enfermedades, para ofrecer asesoramiento, servicios y mercancías para mejorar el tratamiento de enfermedades específicas. Un ejemplo de ello es la participación de la cadena de mercados Wegmans Food Markets, situado en las proximidades de Syracuse, estado de Nueva York, en un programa de asesoramiento sobre diabetes denominado Asociación para la Salud (del inglés *Partnership for Health*). Las oficinas de los supermercados fueron utilizadas para impartir una serie de conferencias a los diabéticos sobre materias que abarcan desde la introducción a la enfermedad, hasta la planificación de las comidas y los consejos dietéticos, incluido el asesoramiento individual a los pacientes. La asociación empresarial experimental proporcionó ventajas a todos los involucrados. Para los pacientes, la naturaleza gradual del programa de asesoramiento fue mucho más efectiva que los cursos intensivos de emergencia. Por esta razón, los pacientes pudieron entender los beneficios del cumplimiento de las instrucciones del médico y de otros aspectos sobre el manejo de su enfermedad. En consecuencia, un gran número de médicos remitía a sus pacientes al programa de asociación con los supermercados. Mediante ventas adicionales de comestibles y medicamentos, Wegmans recuperó las utilidades perdidas en sus dispensarios, los cuales habían sido desintegrados lentamente por la presión creciente de las organizaciones de salud para que usaran los medicamentos genéricos. Además, también hubo ahorros para las compañías de manejo de enfermedades. El esquema piloto para la Asociación para la Salud ha reducido los costos anuales de atención de salud para cada paciente diabético en 60% [6].

En la medida en que la genómica comience a analizar la genética a partir de las causas ambientales de las enfermedades, y en la medida en que aumente la comprensión de ambos, habrá más oportunidades para prestar servicios terapéuticos no ortodoxos e individualizados a través de tiendas para la venta directa al consumidor, y orientadas a la dieta, los medicamentos y otros aspectos de los tratamientos. Estas oportunidades pueden surgir en condiciones patológicas de amplio perfil como las enfermedades cardiovasculares y el cáncer, que afectan decenas de millones de personas cada año. Por lo tanto, la integración de la atención de salud y los productos alimenticios con los servicios, está ocurriendo a cada nivel en esta cadena “agricéutica”, desde la investigación y desarrollo más fundamentales, hasta el consumidor. En el 2028, la combinación de la ciencia, la salud y el nego-

cio agrícola, sería casi dos veces mayor en comparación con el negocio agrícola sólo, con más de quince mil millones de dólares estadounidenses. En el sector “agricéutico”, el procesamiento y la distribución de alimentos representarían 84% del total del valor añadido al sistema [6].

De acuerdo con H. Verfaillie, el sistema de suministro de alimentos cambiará de forma creciente, para apropiarse, de la mejor forma, del valor de las características fenotípicas nuevas introducidas en los cultivos. Tendrán que surgir nuevos sistemas y canales que permitan que estos productos hechos a la medida, se trasladen eficiente y separadamente desde las granjas hasta los fabricantes y los consumidores. La línea divisoria entre los alimentos y los medicamentos se hará cada vez más difusa. En los sectores industrial y académico, los investigadores trabajan en la identificación de componentes en los alimentos que tienen impacto en la salud (principios bioactivos), con lo que conducen, por lo tanto, a una genuina ciencia de la nutrición, y permiten comprender las implicaciones del consumo de alimentos. Una consecuencia adicional de este cambio, es que las necesidades de salud y nutrición específicas de cada localidad y cada región, se pueden abordar mediante estrategias locales y regionales que utilizan las biotecnologías para elevar la calidad nutricional de los alimentos locales y sus propiedades beneficiosas para la salud. Además, la producción de cualquier otro cultivo convencional que pueda incluir una variedad con características fenotípicas farmacéuticas, nutricionales y beneficiosas para la salud, proveerá a los agricultores de mercados nuevos y más amplios para sus productos [5].

La toma de decisiones en el nuevo sistema “agricéutico”, descansará en la interacción de las divisiones tradicionales del negocio agrícola, la salud y la nutrición con los productos farmacéuticos (donde todos responden a las necesidades de la sociedad y de los consumidores). La genómica es el foco habitual de investigación de las tres divisiones “agricéuticas”. El descubrimiento de genes y el análisis de su función en las plantas, animales y humanos, permitirán la identificación no sólo de las características fenotípicas comunes, sino también de las interacciones entre los genomas de especies diferentes cuando la información genética se expresa en organismos heterólogos. Por supuesto, la genómica será especialmente importante en la dilucidación de las respuestas individuales a las enfermedades, los medicamentos y los productos alimenticios. La inmunidad es otro aspecto habitual. La capacidad de combatir los patógenos invasores es inherente a las plantas, los animales y el hombre, y una buena parte de la investigación y desarrollo dentro del negocio agrícola, la salud y la nutrición, así como de la sección farmacéutica de las compañías de productos “agricéuticos”, estará dirigida a la comprensión y el uso de la inmunidad [6].

Además de ser guardianes de los recursos hidráulicos y de la tierra, los agricultores estadounidenses están comenzando a aplicar la tecnología de los genes —dirigida a reducir el costo de los alimentos, la fibra, la alimentación animal, los combustibles y los productos farmacéuticos producidos en plantas y animales. Los agricultores estadounidenses también contribuyen al valor añadido en términos de salud y nutrición, de una

forma que reduce la contaminación ambiental y proporciona condiciones sustentables a largo plazo. También se espera que manejen los procesos de manera que salvaguarden la diversidad del germoplasma y la fauna salvaje. Los que procesan los alimentos desarrollarán productos de marca con su propia etiqueta, que informan no sólo el contenido calórico, sino también alternativas de nutrición y salud. El distribuidor se convertirá en el socio confiable del consumidor, que ahora trabaja en asociación con los hospitales y el sistema de salud para brindar productos alimenticios únicos a las personas, y así, poder tener el control de las enfermedades, la salud y la nutrición de la población en general. Todas estas actividades requieren estrechas relaciones de trabajo entre los sistemas de toma de decisiones de los sectores privado y público: en esencia, las compañías y las entidades reguladoras. También, se requiere la participación de grupos de consumidores [6].

Las biotecnologías agrícolas y la producción de alimentos en los países en vías de desarrollo

La producción agrícola: logros y perspectivas

De casi doscientas personas que nacen cada minuto en el planeta, más de 90% pertenece a los países en vías de desarrollo. Alrededor de 80% de la población mundial ya vive en el sur, sin embargo, utiliza sólo 20% de los recursos globales. De hecho, según Ismail Serageldin, vicepresidente del Banco Mundial y presidente del Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (CGIAR, del inglés *Consultative Group on International Agricultural Research*), “ya tenemos 840 000 000 de personas pasando hambre y otros 2 000 000 000 de desnutridos, y tendremos 3 000 000 000 más en el planeta, en los países en vías de desarrollo”. Nueve mil millones de personas habrá en el planeta en los próximos veinte a veinticinco años, independientemente de los esfuerzos que se realizan para controlar el crecimiento demográfico. La seguridad alimentaria se encuentra en peligro, además, por la urbanización y el deterioro ambiental. El Banco Mundial plantea que para el año 2030, las poblaciones urbanas se duplicarán en relación con las rurales. La urbanización y el deterioro ambiental reducen la disponibilidad de la tierra primordial para la agricultura. La fertilidad de los suelos está disminuyendo de forma alarmante, especialmente en África. Es probable que la escasez de agua se convierta en la principal limitación de la agricultura en el sur. La confluencia de ésta y otras tendencias, ha provocado que las reservas globales de cereales disminuyan a su nivel más bajo —medido como por ciento de uso total—, desde que el gobierno de los Estados Unidos comenzó a controlar estas reservas en la década de 1960 [8].

Aunque el sur lleva el peso de la mayoría de estas tendencias, ellas también tienen implicaciones muy grandes para el norte. Norman Borlaug, Premio Nobel de la Paz en 1970 por promover la “revolución verde”, señaló que, en su larga experiencia, “las personas hambrientas se vuelven personas violentas; no compran comida, compran armas de fuego”. Las poblaciones hambrientas también tienden a migrar, primero

hacia las ciudades más próximas y finalmente hacia otros países —generalmente del norte—, donde encuentran oportunidades para tener un futuro mejor. El deterioro ambiental en los países en vías de desarrollo, contribuye al aumento de la migración y está vinculado al incremento de los problemas ambientales en el mundo [8]. Según N. Borlaug, la única vía que tiene la agricultura para avanzar al mismo ritmo que la población y para aliviar el hambre en el mundo, es incrementar la intensidad de la producción en aquellos ecosistemas que propician una intensificación sustentable, al mismo tiempo que disminuye la intensidad de la producción en los ecosistemas más delicados. En particular, si no se logra que la agricultura avance en los países africanos del sur del Sahara, la pobreza continuará aumentando y los cataclismos sociales inminentes que aparecerán por consiguiente, se volverán una pesadilla global.

En la década de 1960, los investigadores dieron una respuesta cuando la escasez de alimentos y la destrucción amenazaron al continente asiático. La propuesta consistió en adaptar el medio ambiente a las plantas —con fertilizantes, biocidas, sistemas de irrigación de la tierra e invernaderos. La “revolución verde” de las décadas de 1960 y 1970, se propagó de una forma relativamente sencilla. Los científicos de instituciones internacionales muy motivadas, produjeron e intercambiaron semillas con organizaciones regionales, e incluso directamente con los agricultores. El potencial de alto rendimiento de las nuevas variedades indujo la adopción de prácticas agronómicas que producían aún más. En el centro del sistema estaba el CGIAR, red de centros de investigación auspiciados por el Banco Mundial (Washington, D.C., E.U.A.) y por tres organismos de las Naciones Unidas (la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]). En los centros del CGIAR se realizan investigaciones sobre el desarrollo y el comportamiento agronómico de los cultivos, y se entrena personal en este sentido. En esencia, los productos del CGIAR son semillas, prácticas agronómicas nuevas y, quizás lo más importante, personal entrenado. Durante mucho tiempo, el sistema del CGIAR representó la mejor estructura posible para elevar el rendimiento de los cultivos en el mundo entero [2].

De hecho, los investigadores desarrollaron maíz, trigo y arroz de mayor rendimiento productivo, que cultivados sobre la base de mayores insumos —agua, fertilizantes y, en el caso del arroz, plaguicidas—, duplicaron y, en ocasiones, triplicaron la producción. A partir de ese momento, la productividad ha mejorado de forma más gradual, pero se ha mantenido definitivamente constante [8].

Más tarde, la atención de la investigación se volvió de las tecnologías de alto consumo y alta producción, hacia las tecnologías de mayor productividad; es decir, la producción de una cantidad de alimentos mucho mayor con muy pocos gastos. Este cambio será analizado de forma retrospectiva como una de las mayores contribuciones de la ciencia al bienestar de la humanidad en el siglo XXI, lo que demuestra que se está optando por un futuro sustentable [8].

Por ejemplo, en el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT, México), los investigadores han desarrollado un maíz que puede producir 24-40% más del grano, bajo condiciones de sequía moderada durante el florecimiento de la planta y el crecimiento de los granos, sin detrimento en los rendimientos. Estos productos nuevos tienen incluso un rendimiento superior al de los híbridos comerciales recomendados que los agricultores cultivan. Y las nuevas variedades no sólo se desarrollan bien en condiciones de sequía, sino que también producen una cantidad de granos mucho mayor que las plantas con que compiten en los suelos deficientes en nitrógeno. La deficiencia de este elemento químico constituye una limitación de la producción que está ampliamente difundida en África y en muchos otros lugares. Dicho de forma sencilla: estas variedades nuevas son mucho más eficientes en cuanto a la incorporación y utilización de los insumos. Además del desarrollo de variedades eficientes de maíz y trigo, los investigadores del CIMMYT han producido semillas con resistencia genética intrínseca a plagas y enfermedades, así como tolerancia a factores de estrés abiótico, además de la sequía y la deficiencia de nitrógeno. Por ejemplo, todos los trigos del CIMMYT tienen resistencia genética duradera a la roya de las hojas y a la roya del tallo, las dos enfermedades más devastadoras del trigo. Resistencia mejorada significa que los rendimientos de los agricultores varían menos de un año a otro, lo que representa una ventaja para las familias urbanas y rurales de pocos ingresos que pagan con hambre las pérdidas de sus cultivos. Además, en los países en vías de desarrollo se ha cambiado por el uso de los fungicidas que se emplean ampliamente en los países industrializados, para tratar los cultivos de trigo afectados por enfermedades con una resistencia superior [8].

Por primera vez en el sistema CGIAR, el CIMMYT presentó una patente que describe el uso de la apomixis para permitir a los agricultores mantener el vigor de los híbridos a través del rescate de semillas [2]. El maíz apomítico, aún en desarrollo, se reproducirá de forma asexual y producirá semillas que darán lugar a plantas que son clones exactos de la planta madre, independientemente de la constitución genética del polen disponible. Una ventaja extraordinaria de esta tecnología es que los agricultores con pocos recursos podrán reservar semillas de maíz con características híbridas mejoradas de un ciclo de cultivo a otro, sin perder aquellas características mediante la fecundación cruzada [8, 9].

Las prácticas de manejo mejoradas que se aplican en las granjas, en combinación con el cultivo de variedades fuertes de alta productividad, pueden duplicar —e incluso triplicar— los rendimientos de los agricultores. Las investigaciones sobre esta línea involucran una compleja repetición de experimentos de campo, la modelación de cultivos y suelos, el uso de sistemas de información geográfica y el empleo de sistemas de teledetección. En el CIMMYT, los agrónomos están analizando el uso de fertilizantes estratégicos y el balance de nutrientes; estrategias apropiadas para abastecer los suelos de materia orgánica —abono vegetal y residuos de cosechas—; el desarrollo de reciclajes adecuados de los cultivos; la reducción de la aradura de las tierras y el manejo integrado de plagas y malezas [8].

Una seguridad alimentaria sustentable significa lograr sistemas agrícolas sustentables y de alta produc-

tividad. Y para que los sistemas agrícolas sean sustentables, deben ser económicamente viables, no perjudiciales para el medio ambiente, aceptables desde el punto de vista social y deben tener respaldo político. Los sistemas agrícolas sustentables deben ser económicamente viables a los niveles nacional y de plantación. Los agricultores con pocos recursos no pueden invertir en sistemas que no les proporcionarán rendimientos razonables, o mejor aún, ingresos en efectivo, tanto en el presente como en el futuro. En el ámbito nacional, la agricultura también debe ganarse su subsistencia como contribuidor importante en ganancias, sin deducciones por concepto de venta de productos de consumo doméstico y de exportaciones. La realidad en la mayoría de los países, en especial en los del sur, es que el bienestar económico y el desarrollo se basan casi invariablemente en una agricultura provechosa y productiva, lo que constituye el trampolín de la consiguiente industrialización.

Los sistemas agrícolas sustentables tampoco deben dañar el medio ambiente. El éxito económico en la agricultura no se puede producir a expensas de los suelos, el aire, el agua, los paisajes, y la flora y la fauna autóctonas. La necesidad de sistemas que sean aceptados por la sociedad, implica que es necesaria una mejor comprensión de los requerimientos y valores de los agricultores y la comunidad, así como una mejor utilización de la tecnología de acuerdo con las condiciones locales.

Finalmente, los sistemas de cultivo sustentables deben ser apoyados desde el punto de vista político. Si el crecimiento económico es catalizado por la agricultura en un medio de aceptación social y seguridad ambiental, los políticos continuarán brindando un apoyo a la agricultura que considerarán justificado. Los cuatro componentes se combinan para crear un todo: una agricultura sustentable. Si se descuida uno de ellos, pudiera disminuir la velocidad y la magnitud del progreso hacia la alimentación sustentable y la seguridad alimentaria [8].

Si se desea progresar hacia una seguridad alimentaria sustentable, un nuevo paradigma de investigación debe centrar su atención en lograr una combinación óptima de los mejores genotipos en ambientes propicios, con un manejo adecuado de los cultivos y con la generación de resultados apropiados para las personas que dependen directamente de la agricultura. Los que buscan promover una agricultura sustentable en los países en vías de desarrollo, deben reconocer la interdependencia de estos factores. La intensificación sustentable de la agricultura en los campos cultivados por los agricultores, es esencial para garantizar la seguridad alimentaria en el siglo XXI [8] (Reeves, 1999).

Para lograr una agricultura sustentable, las plantas deben adaptarse a las condiciones ambientales; es decir, se deben crear variedades de mayores rendimientos que se ajusten a las necesidades del hombre y que puedan crecer en lugares donde, por ejemplo, escasean el agua y el nitrógeno, o donde son abundantes las plagas y las enfermedades [2]. He aquí donde las biotecnologías agrícolas desempeñan su papel.

Contribución de las biotecnologías agrícolas

Las biotecnologías agrícolas pueden contribuir al aumento y al mejoramiento de la producción de alimentos en los países en vías de desarrollo. De hecho, estas biotecnologías forman parte de los programas de de-

sarrollo socioeconómico en estos países, los cuales, con frecuencia, las consideran una máxima prioridad. Para que las biotecnologías, y más específicamente los cultivos transgénicos, sean útiles para los países en vías de desarrollo, primero se deberían tomar en cuenta las necesidades locales y nacionales de las poblaciones involucradas, y no sólo las necesidades de los mercados internacionales, que son generalmente el centro de atención de las grandes compañías productoras de semillas y productos químicos para la agricultura. Sin embargo, parece que la situación está cambiando y que las compañías multinacionales tienen un interés cada vez mayor en los mercados de los países en vías de desarrollo, y en establecer asociaciones cooperativas con éstos [10, 11].

Para los países en vías de desarrollo, es de vital importancia contar con investigaciones en el sector público que sean lo suficientemente fuertes como para seleccionar las opciones apropiadas y mitigar el dominio de los países industrializados. Esto hará que las compañías productoras de semillas y productos químicos para la agricultura, comiencen a preocuparse en

relación con los derechos de propiedad intelectual, y que se obtengan grandes beneficios de la exportación de variedades de mayor preferencia. Por ejemplo, en la India, el Instituto de Investigaciones Agrícolas (del inglés Agricultural Research Institute) ha estado desarrollando variedades transgénicas durante varios años, con mayor atención en aquellas de interés para la economía de su país y para el suministro de alimentos. Al mismo tiempo, este instituto se opone al Sistema de Protección de la Tecnología (TPS, del inglés Technology Protection System), que evita la germinación de las semillas de la progenie en determinadas especies de cultivo y que se denomina "tecnología exterminadora". De hecho, según Anil Gupta del Instituto Hindú de Administración (Indian Institute for Management), los científicos indios pertenecientes a instituciones públicas de investigaciones agrícolas, están tratando de desarrollar variedades de cultivo que contengan genes que contrarresten la "tecnología exterminadora", de manera que los agricultores puedan utilizar las semillas de una cosecha para sembrar sus campos durante el próximo ciclo de cultivo [12, 13].

1. Arntzen C.J. The emerging role of biotechnology in food engineering. In: International Life Science Forum, BioVision. Parallel Conferences Summaries; 1999 March 26-29; Lyon, France.

2. Salamini F. North-South innovation transfer. *Nature Biotechnology* 1999;17:BV11-2.

3. Khush GS. What is up. In: International Life Science Forum, BioVision. Parallel Conferences Summaries; 1999 March 26-29; Lyon, France.

4. Mifflin B, Napier J, Shewry P. Improving plant product quality. *Nature Biotechnology* 1999;17:Bv39-40.

5. Verfaillie H. How the emerging biotechnol-

ogy revolution in agriculture may affect food supplies. In: International Life Science Forum, BioVision. Parallel Conferences Summaries; 1999 March 26-29; Lyon, France.

6. Goldberg R. The business of agricultural. *Nature Biotechnology* 1999;17:BV5-6.

7. Kempf H. L'opinion publique se détourne des OGM. Les pays pauvres risquent de devenir un terrain d'essai. *Le Monde* 1999 May 26. p.26.

8. Reeves TG. Intensification for the nine billion. *Nature Biotechnology* 1999;17:BV33-4.

9. Sasson A. La apomixis. En: Cultivos transgénicos: hechos y desafíos. La Habana: Elfos Scientiae. De próxima aparición 2000.

10. Sasson A. Biotechnologies in developing countries: present and future. Vol. 1. Regional and national survey. Paris, UNESCO. Future-oriented studies; 1993.

11. Sasson A. Plant biotechnology-derived products: market-value estimates and public acceptance. Dordrecht (Netherlands): Kluwer Academic Publishers; 1998.

12. Vincent C. Les OGM, un bien ou un mal pour les pays en développement? *Le Monde* 1999 April 20. p.III.

13. GRAIN (Genetic Resources Action International) Food? Health? Hope? Seedling (The Quarterly Newsletter of Genetic Resources Action International - GRAIN, Barcelona) 1999; 16(1):16-25.

Recibido en julio de 1999. Aprobado en diciembre de 1999.