

---

*Jean Rosscup Riepe  
y Marshall A. Martin (\*)*

---

*Biotecnología agrícola: implicaciones  
y perspectivas (\*\*)*

**INTRODUCCION**

La biotecnología está captando la atención de las comunidades científicas y empresariales y promete cambios sustanciales en la producción agrícola y la elaboración de los alimentos. Sin embargo, los estudios realizados hasta ahora indican que muchas personas desconocen los avances biotecnológicos o no están bien informados sobre el tema. En este artículo se comentan las ventajas potenciales de la biotecnología, y las cuestiones sociales y económicas que rodean a su uso.

La biotecnología, según la Oficina de Evaluación de la Tecnología, comprende «técnicas que utilizan organismos vivos para obtener o modificar productos, para mejorar plantas o animales o para desarrollar microorganismos para usos específicos». Estas técnicas son la ingeniería genética, el cultivo de tejidos, la fermentación celular, la transferencia de embriones, la ingeniería de proteínas y la embriogénesis. La biotecnología abarca un amplio campo de conocimientos y técnicas científicas aplicadas a la concepción, experimentación, desarrollo y comercialización de

---

(\*) Departamento de Economía Agrícola. Universidad de Purdue. West Lafayette. Indiana.

(\*\*) Este artículo fue escrito con la colaboración y apoyo del Centro de Evaluación Tecnológica y Político Agraria de Purdue (Indiana).

— Agricultura y Sociedad n.º 53 (Octubre-Diciembre 1989)

---

una extensa gama de productos vegetales y animales. Entre las distintas disciplinas científicas relacionadas con la biotecnología destacan: bioquímica, biología molecular, bacteriología, patología vegetal, botánica, ciencia de los alimentos, zoología, horticultura, agronomía y veterinaria.

La biotecnología, genéricamente hablando, ha sido utilizada por el hombre desde hace miles de años. Nuestros antecesores tenían amplia experiencia en la fermentación de los vinos y el cultivo y la cría selectiva de cosechas y ganado. Los fundamentos de la biotecnología moderna fueron establecidos alrededor de 1860 por George Mendel, el padre de la genética. En 1953, James Watson y Francis Crick descubrieron la famosa estructura de doble hélice del ácido desoxirribonucleico (ADN), la molécula que contiene el material genético. Este descubrimiento fue básico para entender el modo en que la información genética se transmite de una generación a la siguiente en todos los seres vivos. En los años 70, los científicos habían ya descubierto cómo recombinar genes para formar nuevas cadenas de ADN.

Hoy en día ya está aprobada la venta comercial de varios productos obtenidos mediante procesos biotecnológicos. La insulina humana se produce utilizando bacterias genéticamente alteradas que contienen en su ADN los genes de la insulina humana. Se produce jarabe de maíz con alto contenido de fructosa por medio de enzimas obtenidas mediante ingeniería genética. CandoSan®, un pesticida biológico, controla los nematodos a pequeña escala. Muchos otros productos y procesos se encuentran en fase de desarrollo o comercialización.

## **PERSPECTIVAS DE LA BIOTECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION AGRICOLA**

La alimentación de la creciente población mundial ha sido motivo de preocupación para economistas, ingenieros agrícolas y otros sectores durante siglos. Durante las últimas décadas, científicos, agricultores, el sector agroindustrial y los organismos gubernamentales han trabajado conjuntamente para conseguir

grandes incrementos de la productividad agrícola. La población mundial, sin embargo, ha superado la barrera de los cinco mil millones, y se prevé que esta cifra se duplique a mediados del siglo XXI. En consecuencia nos enfrentamos al reto de aumentar la productividad agrícola para cubrir la creciente demanda mundial de alimentos sin dañar el medio ambiente y sin agotar los recursos no renovables.

La biotecnología ofrece amplias posibilidades de contribuir a incrementos adicionales de la productividad agrícola. En las plantas, la ingeniería genética puede utilizarse para mejorar la selección vegetal clásica. Permite seleccionar y manipular determinados genes deseables que producen un aumento del rendimiento, y acortar el período necesario para desarrollar nuevas variedades. La ingeniería genética se está aplicando asimismo para conseguir plantas resistentes a herbicidas, insectos, enfermedades y tensiones ambientales. La técnica es más sencilla en las plantas cuando se trabaja con rasgos dependientes de un solo gen, como por ejemplo, la resistencia a la atracina. Los rasgos genéticos que aumentan los rendimientos suelen depender de varios genes, lo que hace más compleja, costosa y laboriosa la identificación y manipulación genética. La ingeniería genética se aplica también más fácilmente en plantas que pueden ser regeneradas a partir de cultivos celulares. Se han conseguido la transferencia de genes y la regeneración de plantas en el tabaco, la alfalfa, el tomate, el arroz, el maíz y la soja, pero no se han logrado todavía en el trigo. Para la mayoría de los principales cultivos no se espera en un futuro próximo aumentos de la productividad derivados de la ingeniería multigénica.

La alimentación de la población mundial podría facilitarse expandiendo las áreas de cultivo a regiones actualmente no cultivables gracias al empleo de la biotecnología para mejorar la adaptación de las plantas. Los investigadores están intentando alterar genéticamente las plantas para que puedan soportar tensiones ambientales como salinidad y humedad del suelo, sequías, calor y frío. Los avances de la ingeniería genética para cambiar las condiciones de resistencia a las circunstancias adversas en las plantas parece ser que tardarán en consolidarse, sin embargo,

---

con las técnicas de cultivo de tejidos y observación detallada quizás puedan encontrarse plantas más resistentes en su propia forma natural.

En animales, la biotecnología ya ha hecho económicamente viable la utilización de somatotropina bovina (STB), una hormona proteica presente de forma natural en las vacas que aumenta la producción láctea y la conversión del pienso. Otros productos y técnicas objeto de investigación que aumentan la productividad del ganado son: reducción de la edad hasta la madurez reproductiva; mejora de la conversión del pienso; transferencia, determinación del sexo y congelación de embriones, y vacunas animales y métodos de diagnóstico de enfermedades más seguros y eficaces. Actualmente están ya en el mercado varias vacunas y técnicas de diagnóstico, y se prevé la introducción de nuevos avances en este campo.

La calidad del agua subterránea y la seguridad ambiental también constituyen importantes problemas que pueden ser resueltos con la biotecnología. Los acuíferos pueden verse afectados negativamente por los nitratos procedentes de escurrimiento o lixiviación de fertilizantes. Se espera conseguir con la biotecnología plantas y microorganismos edáficos que aumenten la capacidad natural de fijación de nitrógeno de las plantas leguminosas o que permitan que una planta no leguminosa, como el maíz o el trigo, fije su propio nitrógeno. De esta forma, se podría reducir la utilización de fertilizantes nitrogenados y los problemas ambientales derivados. Ya se han desarrollado bacterias mejoradas genéticamente que fijan nitrógeno en las legumbres (por ejemplo, en la alfalfa). La alteración de las plantas del maíz o del trigo para que puedan fijar nitrógeno constituye, sin embargo, un reto más complejo, que sólo se resolverá tras muchos años de investigación.

Los herbicidas e insecticidas originan problemas ambientales. La alteración de la configuración genética de las plantas para hacerlas resistentes a los insectos y la obtención de bioinsecticidas disminuirá la necesidad de utilizar insecticidas químicos. Ya se han desarrollado plantas de tabaco y tomate resistentes a los insectos. Existen ya en el mercado, o se comercializarán en breve, varios

bioinsecticidas. La existencia de plantas resistentes a los herbicidas permitirá a los agricultores utilizar herbicidas más baratos y menos perjudiciales para el medio ambiente. En la actualidad se están realizando ensayos de campo para conseguir una mejor resistencia a los herbicidas mediante la aplicación de la ingeniería genética.

La erosión del suelo constituye otro problema ambiental. La resistencia a los herbicidas de las plantas y los métodos biológicos eficaces para el control de enfermedades y plagas deben permitir la utilización más generalizada de sistemas de cultivo de conservación, y especialmente de los que no necesitan arado, que conservan la capa superficial y la humedad del suelo. Estos sistemas requieren actualmente una mayor aplicación de herbicidas que los sistemas convencionales. Varios productos biotecnológicos mejorarán también la conversión del pienso por el ganado. Ello permitirá alcanzar el mismo nivel de producción ganadera con menos pienso o menos animales. De este modo se necesitaría una menor extensión de tierra para la producción de cultivos, con lo que se podrían dejar sin sembrar las áreas marginales y con alto grado de erosión.

Se están desarrollando muchas futuras innovaciones biotecnológicas para la producción agrícola. Algunas de ellas se han hecho ya realidad, o lo serán en breve, mientras que otras necesitarán muchos años de investigación y desarrollo. Muchas de estas innovaciones reducirán los costes, beneficiando no sólo a los agricultores, sino también a los consumidores, al disminuir el precio de los alimentos. Sin embargo, el consumidor se verá también beneficiado de otras maneras.

## **PERSPECTIVAS DE LA BIOTECNOLOGIA PARA EL CONSUMIDOR**

Los consumidores han sido tradicionalmente los principales beneficiarios de la innovación tecnológica en el campo de la agricultura. Actualmente, los hogares de los países más industrializados gastan en la compra de alimentos proporcionalmente menos que los situados en otros países. Esto es debido principal-

---

mente a la elevación de la productividad y, en general, a una mayor eficiencia del sistema alimentario. Los consumidores deben beneficiarse de la biotecnología en forma de una mejora de la calidad y seguridad de los alimentos y de una disminución de sus costes de producción y elaboración.

La calidad y seguridad de los alimentos que ingerimos puede mejorarse por medio de la biotecnología. La somatotropina porcina (STP), una hormona proteica de crecimiento producida de forma natural por el cerdo, no sólo aumenta la conversión del pienso en los cerdos, sino que redirige los nutrientes de la producción de grasa a la de carne magra. Datos obtenidos en estudios universitarios muestran una reducción de grasa de hasta un 70 %. ¡Son buenas noticias para los consumidores preocupados por la dieta y los niveles de colesterol!

Se espera que muchas frutas, hortalizas, carnes y otros productos agrícolas logren alterarse genéticamente para conseguir el sabor, color, nutrición y demás características preferidas por el consumidor. Como resultado, podría abandonarse la actual utilización de productos químicos y fármacos para conseguir dichas características. Los alimentos pueden hacerse más nutritivos por medio de la ingeniería genética. Por ejemplo, el trigo puede modificarse para lograr que contenga proteínas de mayor calidad o aminoácidos esenciales de los que carece. Muchos investigadores utilizan la biotecnología para producir plantas o semillas que actualmente tienen que importarse o cuya obtención es muy costosa. Durante años se han producido orquídeas en laboratorio. Se están investigando los granos de cacao, de los que se obtiene el chocolate, y las semillas de jojoba, que producen una cera similar al aceite de esperma de ballena. Finalmente, la ingeniería genética aplicada a los microorganismos permitirá a los procesadores de alimentos un control más estrecho de su calidad durante la elaboración, el almacenamiento y el transporte. La mayoría de estas innovaciones biotecnológicas serán conseguidas en el medio y largo plazo.

Se espera que la aplicación de la biotecnología aumente la eficiencia de la elaboración de los alimentos. Los nuevos procesos,

algunos de los cuales incluyen enzimas y microorganismos obtenidos mediante ingeniería genética, pueden hacer rentable la comercialización de nuevos productos alimenticios, como el jarabe de maíz con alto contenido de fructosa y el aspartato, un edulcorante sintético. Puede aumentarse también la eficiencia de los microbios y procesos existentes. Se espera desarrollar métodos para aprovechar los actuales subproductos que son desechados, como por ejemplo, el suero en la producción de quesos. También la mayor parte de estos desarrollos exigirán esfuerzos a largo plazo, no obstante, pueden irse consiguiendo, en los próximos años, resultados importantes.

No se dispone todavía de la mayoría de las ventajas que el consumidor y la producción agrícola podrán obtener de la biotecnología. Quedan muchas lagunas en nuestros conocimientos sobre biología y fisiología básica animal y vegetal. Es preciso realizar mucha más investigación en estas áreas antes de poder conseguir ventajas importantes. Se necesita asimismo una financiación constante de la investigación básica y aplicada. Sin la financiación pública y privada necesaria para apoyar la investigación y el desarrollo, se perderán muchas de las oportunidades de mejorar nuestro entorno y nuestro nivel de vida por medio de la biotecnología.

## **ASPECTOS SOCIALES Y ECONOMICOS DE LA BIOTECNOLOGIA**

Love Canal, Three Mile Island, Bhopal, Chernobyl: estos acontecimientos y otros ocurridos en las últimas décadas han cambiado la actitud del público ante la ciencia y la tecnología. El apoyo público a la investigación ya no puede darse por descontado. La biotecnología no es diferente, y numerosos grupos e individuos preocupados expresan reservas sobre sus consecuencias económicas, éticas y sociales. La mayor parte de los ejemplos establecidos aquí se refieren a los Estados Unidos, aunque, sin embargo, la preocupación sobre estos temas es nula en otros países y en Europa.

---

## Repercusiones socioeconómicas

¿A quién y cómo afectará la biotecnología? ¿Cuáles son sus posibles repercusiones socioeconómicas? Se necesitan investigaciones económicas para poder contestar a estas preguntas. Por desgracia, el análisis económico es muy difícil cuando una tecnología todavía no se ha introducido. El pasado puede, sin embargo, darnos una idea de las posibles repercusiones de esta nueva ciencia.

La biotecnología afectará a la estructura de la producción agrícola. Tradicionalmente, las innovaciones tecnológicas adoptaron la forma de máquinas nuevas, mejores y más grandes, además de otros adelantos. Como consecuencia, se produjo una tendencia a largo plazo hacia explotaciones comerciales menos numerosas y mayores, con más capital y gestionadas más intensamente. El número de explotaciones descendió en Estados Unidos desde más de 6 millones en los años 20 a los cerca de 2 millones existentes en la actualidad. La población de estas explotaciones también disminuyó desde cerca del 25% de la población durante la depresión hasta aproximadamente el 2% de la población actual. Tendencias similares son patentes en la Comunidad Económica Europea.

Diversos economistas agrónomos han expresado sus opiniones, un tanto divergentes, en los posibles efectos de la biotecnología en la estructura de las explotaciones agrícolas. Así, Kalter predice importantes reducciones del número de explotaciones y de su población. Por su parte, Falter y col. analizaron las repercusiones de la STB en el sector lácteo y concluyeron que este producto biotecnológico no haría sino reforzar la tendencia a largo plazo hacia un menor número de explotaciones de mayor tamaño. Tweeten y Welsh sugieren que la biotecnología repercutirá de forma similar en todas las explotaciones con independencia del tamaño, en lugar de favorecer a las más grandes, como ocurrió con las antiguas tecnologías.

La velocidad de los cambios estructurales también es importante para valorar las repercusiones socioeconómicas de la



---

biotecnología. Las opiniones de los economistas también se encuentran divididas en relación con este tema. Kalter predice rápidos cambios estructurales, al igual que Huet y Just, en tanto Marion, Wills y Butler esperan que la velocidad de dichos cambios sea similar a la observada tras la introducción de otras innovaciones tecnológicas.

Otro factor importante para la determinación de las repercusiones de la biotecnología en la estructura agrícola es la velocidad y grado de adopción del nuevo producto. Tradicionalmente los agricultores han adoptado las nuevas tecnologías de modo gradual. Existen también ejemplos de tecnologías que sólo se han adoptado parcialmente, o por un número limitado o minoritario de agricultores, o que una vez adoptadas han sido rechazadas. La disponibilidad de una tecnología determinada no es, por tanto, una garantía de su adopción. Las restricciones que pueden limitar la adopción de productos biotecnológicos son: incertidumbre, disponibilidad de mano de obra y capital y capacidades de gestión. Esta última puede ser especialmente importante para la adopción con éxito de numerosos productos biotecnológicos.

Además de afectar a la estructura de la producción agrícola, la biotecnología tendrá repercusiones económicas en los agricultores. Una vez más, la experiencia puede servirnos de guía. Tradicionalmente, los primeros en adoptar la tecnología agrícola obtenían mayores beneficios durante algunos años. Una vez que se generalizaba la adopción de la tecnología y el mercado se ajustaba a la nueva situación de oferta y demanda, las ventajas iniciales desaparecían. Los ingresos netos de los primeros en adoptar la tecnología volvían a los niveles iniciales, mientras que los de quienes la adoptaban en fecha tardía apenas se modificaban, y los de quienes no la adoptaban disminuían. Los agricultores estadounidenses han experimentado durante varias décadas esta rueda de acontecimientos movida por la tecnología.

La biotecnología también afectará a la estructura del sector agroindustrial. Los proveedores de factores de producción tendrán que enfrentarse a cambios importantes en el sector si la ingeniería genética consigue que los principales cultivos requieran menos

---

fertilizantes y pesticidas. Varias de las empresas agroquímicas más importantes, como Eli Lilly, DuPont, Monsanto, Ciba-Geigy, Dow y American Cyanamid han hecho ya grandes inversiones en investigación biotecnológica. Muchas empresas están siendo integradas verticalmente debido a los beneficios potenciales que se vaticinan para los productos biotecnológicos. Las empresas productoras de semillas están siendo absorbidas por otras dedicadas a la investigación biotecnológica para obtener un vehículo de comercialización de las semillas de plantas obtenidas mediante ingeniería genética y de otros productos biotecnológicos destinados a los agricultores.

Al igual que en el caso de la producción agrícola, la biotecnología no sólo afectará a la estructura del sector agroindustrial, sino también a su rentabilidad. Los avances biotecnológicos se aplicarán probablemente para aumentar la eficiencia del procesamiento de los productos agrícolas y ganaderos. También aumentará la eficiencia en la obtención de los factores de producción. Al igual que en el caso de la rentabilidad de las explotaciones, las empresas del sector agroindustrial que sean pioneras en el desarrollo o adopción de la biotecnología obtendrán probablemente los beneficios más notables.

Además de tener efectos económicos en la agricultura, la biotecnología afectará asimismo a la competencia internacional en este sector. Si cualquier país limitase la venta de productos biotecnológicos o detuvieran temporalmente la investigación, como desean algunos, la competencia internacional tanto de su sector agrícola como de otros sectores se vería afectada. Al conseguir sus competidores precios más competitivos mediante la adopción de la biotecnología, el país de referencia vería disminuir su mercado de exportaciones, y otras naciones conseguirían una mayor penetración en su propio mercado nacional. Aunque algunos grupos se oponen al uso de la biotecnología en un momento en que existen un exceso de capacidad de producción agrícola y excedentes de productos, otros abogan por el desarrollo de la biotecnología para reducir los costes unitarios de producción, aumentar la eficiencia de ésta, disminuir los precios al consumo,

---

---

conseguir beneficios ambientales y permitir que la agricultura mantenga su competitividad internacional.

En las repercusiones socioeconómicas de la biotecnología en los agricultores, consumidores y contribuyentes influirá la política gubernamental. Las medidas referentes a los agricultores afectarán particularmente al impacto económico de la biotecnología. El mantenimiento de precios elevados puede hacer que la adopción de un producto sea rentable para muchos agricultores, especialmente para los menos eficientes. Alternativamente, un sistema de cuotas, tal como el recientemente implantado en la CEE, con relación al sector lechero, puede desalentar la adopción de productos que aumentan la producción o quizá limiten los beneficios de la adopción de innovaciones. Estas medidas gubernamentales también influirán en la distribución de las repercusiones económicas. Si se mantienen precios rígidos elevados al introducir productos que mejoren la producción, el resultado será la superproducción. Consecuentemente, los ingresos de los agricultores aumentarían, pero los consumidores no se beneficiarían de precios más bajos, y aumentarían los gastos gubernamentales para soportar el programa. Las medidas no agrícolas también afectarán al impacto de la biotecnología en estos grupos. En los productos concretos desarrollados influirán las medidas públicas determinantes de la dirección y nivel de las inversiones en investigación biotecnológica. Las políticas que inhiban la innovación biotecnológica reducirían los beneficios económicos.

Las repercusiones socioeconómicas de la biotecnología en la sociedad incluyen numerosos aspectos importantes y complejos. Son precisas investigaciones para determinar las repercusiones probables. Los aspectos éticos, que no son tan fáciles de cuantificar como los técnicos o económicos, son también importantes y deben ser considerados.

### **Aspectos éticos**

Muchas personas han expresado preocupaciones éticas en torno a la biotecnología. Algunos ponen en duda la moralidad de

---

la ingeniería genética. Consideran que manipula la naturaleza de una forma fundamental en la que los humanos no tienen derecho a intervenir. Los resultados de una encuesta norteamericana indican que cerca de la cuarta parte de la población considera que la ingeniería genética no es moralmente correcta; sin embargo, en el mismo estudio, el 82 % se mostraron partidarios de que continuara la investigación en los campos de la biotecnología y la ingeniería genética (Oficina de Evaluación de la Tecnología de los Estados Unidos).

El concepto que la sociedad tiene de la vida es otra cuestión ética relacionada con la biotecnología. Algunas personas temen que en una sociedad que utiliza la biotecnología, la vida se reduzca al nivel químico o molecular, perdiendo así su inviolabilidad. Piensan que ello podría conducir a la práctica de la eugenesia, la mejora genética de la especie humana.

Se han planteado cuestiones de calidad de vida en relación con los sistemas de producción ganadera. Los defensores de los derechos de los animales no creen que la innovación tecnológica beneficie necesariamente a los animales de granja. Por ejemplo, los ganaderos consideran que los sistemas de estabulación constituyen un método eficiente y apropiado para la cría de ganado, opinión no compartida por los defensores de los animales. La biotecnología fomentará probablemente la concentración del ganado en las granjas, en lugar del regreso a los sistemas tradicionales de producción.

Algunas personas también cuestionan la calidad de vida de agricultores, ganaderos y comunidades rurales. La biotecnología puede causar un descenso acelerado de la población rural. Muchos agricultores o ganaderos pueden pensar que ya no controlan el abastecimiento de los factores de producción, las cosechas que cultivan, el ganado que crían o las tecnologías que utilizan. Por ello, algunos opinan que la adopción de la biotecnología por parte de agricultores y ganaderos supone una innovación que favorecerá la desaparición de las explotaciones familiares y las comunidades rurales tradicionales.

---

## Riesgos

Los riesgos de la biotecnología, ya sean reales o imaginarios, constituyen otro área de controversia que rodea a esta disciplina. Riesgos como la ingeniería genética, la liberación al medio ambiente de organismos vivos alterados genéticamente, el monocultivo de las principales cosechas, la pérdida de diversidad genética y el control del material genético constituyen retos para científicos, corporaciones y público que deben llevar a investigar, desarrollar productos y elaborar políticas de forma responsable.

Las películas de terror y ciencia ficción realizadas en los años 70 crearon una auténtica histeria en relación con la ingeniería genética. Estas películas trataban, típicamente de monstruos y microbios obtenidos mediante ingeniería genética que se escapaban del laboratorio y dejaban a su paso muerte y destrucción. Aunque el punto de vista de Hollywood sobre la biotecnología es un tanto exagerado, es preciso tomar precauciones para conseguir la máxima seguridad en el desarrollo y estudio de los productos obtenidos mediante ingeniería genética.

Los organismos vivos suponen un nuevo reto para la seguridad ambiental, dado que, al contrario que los productos químicos, se reproducen y perpetúan. Los críticos temen que se cause un daño irreversible al medio ambiente, ya que, una vez liberado, un microbio no puede ser recapturado. Los defensores de esta tecnología afirman que sabemos más sobre los procesos biotecnológicos actuales de lo que sabíamos en décadas precedentes sobre el uso y la eliminación de productos químicos o sobre la selección vegetal clásica. A pesar de estas aseveraciones, algunas personas temen que se produzcan desastres similares a los que ocurrieron cuando se introdujeron en Estados Unidos especies foráneas. Por ejemplo, las polillas siguen causando pérdidas de millones de dólares en los bosques estadounidenses, y la enfermedad del olmo holandés continúa haciendo estragos en los preciosos olmos americanos. Ambas especies fueron introducidas en el medio ambiente antes de que se conocieran a fondo sus repercusiones.

El monocultivo de las principales cosechas y ganado y la

---

pérdida de diversidad genética constituyen riesgos relacionados y asociados a la biotecnología. La mayoría de los agricultores se acuerdan demasiado bien de la plaga sureña de la hoja del maíz de principios de los años 70. Esta enfermedad destrozó la mayor parte de la cosecha estadounidense de maíz porque afectaba al citoplasma de las células, que en ese momento eran idénticas en el 80 % de la cosecha norteamericana de maíz híbrido. Esta homogeneidad del material genético se denomina monocultivo. Una especie vegetal o animal, en la que todos los individuos presentan una gran similitud en su material genético es vulnerable a cualquier enfermedad o plaga frente a la que los genes idénticos no ofrecen resistencia. El resultado de un ataque a estas especies puede ser devastador para un agricultor si se pierde toda la cosecha o ganado, y catastrófico para la nación. La biotecnología, por su propia naturaleza, tiende al monocultivo. La sociedad tiene que tener la seguridad de que esta práctica no se produce de modo extensivo, haciendo peligrar el abastecimiento de alimentos de todo el país.

La pérdida de diversidad genética se produce cuando un rasgo, o los genes que originan dicho rasgo se eliminan de un cultivo o de un tipo de ganado. Esto ya ha ocurrido en Estados Unidos con la clásica selección genética de animales y plantas. Genes que no son económicamente provechosos en un momento dado, pueden ser vitales más adelante para la supervivencia de una especie. Por ello, se debe hacer un esfuerzo deliberado para mantener la diversidad genética.

Un último riesgo asociado a la biotecnología se refiere al control de los genes y a las decisiones sobre qué genes son «buenos» o «malos». Las grandes inversiones a largo plazo necesarias para desarrollar los productos biotecnológicos para su comercialización inducen a pensar que las empresas controlarán frecuentemente la investigación biotecnológica y el desarrollo de productos. De hecho, ya se está produciendo esta tendencia. Muchas personas se preguntan quién controlará el desarrollo de la biotecnología y nuestro pool genético. Se preguntan si debe permitirse que sólo unas cuantas empresas importantes, que

buscan beneficios económicos a corto plazo, tomen estas decisiones genéticas en nombre de toda la sociedad y controlen nuestro abastecimiento de alimentos.

### **Directrices reglamentarias en los EE.UU.**

La normativa es un método para controlar los riesgos. Cada país tiene su modo específico de regular las instituciones. En los EE.UU. varios organismos gubernamentales están interesados en la reglamentación de la biotecnología. Los Institutos Nacionales de la Salud (National Institutes of Health - NIH) establecieron en los años 70 directrices para la investigación federal en el área de la ingeniería genética. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S. Department of Agriculture - USDA), la Administración de Alimentos y Medicamentos (Food and Drug Administration - FDA) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency - EPA) tienen potestades regulatorias. El USDA posee jurisdicción reglamentaria en plantas, productos vegetales, animales y productos biológicos veterinarios, así como en la importación, liberación al medio ambiente y transporte interestatal de ciertos organismos alterados genéticamente. La FDA regula los productos farmacéuticos, alimentarios y de diagnóstico, áreas en donde se ha realizado la mayor parte de la producción biotecnológica hasta la fecha. La EPA posee autoridad reglamentaria sobre pesticidas y productos tóxicos en los aspectos de la fabricación, procesamiento, distribución, utilización y eliminación. Tanto la USDA como la EPA han creado comités biotecnológicos, y existe un Comité de Coordinación de la Ciencia de la Biotecnología del gobierno federal. Asimismo, todas las universidades que realizan investigaciones biotecnológicas tienen un comité de revisión y control de las investigaciones. En los laboratorios federales, universitarios e industriales se siguen las directrices recomendadas y hasta la fecha no se ha producido ningún accidente grave.

Estos organismos siguen desarrollando normas y directrices para la investigación biotecnológica y la aprobación de la venta

---

comercial de productos. Algunas personas temen que los reglamentos federales, estatales, y locales dificulten la innovación biotecnológica, mientras que otras temen que no ofrezcan protección suficiente. La industria teme verse atrapada en batallas campales entre los organismos responsables. Otros señalan que esta es la primera vez que se han implantado reglamentos antes de haberse desarrollado una industria, y más aún, antes de que se haya demostrado la existencia de algún riesgo. Los costes y retrasos provocados por estas normativas pueden ser grandes, pero los costes sociales y privados también pueden ser altos si se produce una catástrofe que podría haberse evitado. Una política científica sensata y responsable, junto a una cuidadosa vigilancia por parte de las autoridades gubernamentales, es esencial en el desarrollo de la investigación biotecnológica para evitar equivocaciones y tranquilizar al público.

### **Los derechos de la propiedad intelectual y las patentes**

Una última cuestión relacionada con la biotecnología se refiere a los derechos de propiedad intelectual y a las patentes. La biotecnología suscita nuevos interrogantes respecto a lo que debe patentarse, quién debe poseer las patentes y quién se beneficiará de dichas patentes. Las plantas propagadas asexualmente se han patentado en EE.UU. desde 1930. En 1970 se aprobó en Estados Unidos la ley de protección de las variedades vegetales. En 1980, el Tribunal Supremo emitió en un caso de patentes una sentencia favorable a la obtención de patentes para microorganismos creados por el hombre. En 1987 se concedió la primera patente animal para un ratón desarrollado mediante ingeniería genética en la Universidad de Harvard.

Algunas personas ponen en duda que un ser vivo deba poder patentarse. La opinión de la industria es que se necesita la protección de las patentes para permitir a los innovadores recuperar las grandes inversiones efectuadas en investigación y desarrollo. Ciertas empresas prefieren mantener secretos industriales en lugar de arriesgarse a la exposición pública asociada a la

---



solicitud de una patente. Una empresa de tecnología, Genentech, tiene planteadas actualmente varias demandas legales relacionadas con la infracción de patentes.

Algunas personas han expresado la preocupación de que la obtención de patentes para organismos vivos origine monopolios empresariales sobre nuestro abastecimiento de alimentos. Las patentes obtenidas hasta ahora suelen pertenecer a unas pocas empresas y universidades. Otras personas lamentan el grado en que las universidades públicas se han lanzado a la carrera de las patentes, dejando quizás de lado su supuesta misión. Este tema seguirá debatiéndose a medida que se desarrolle la biotecnología y se disponga de más productos.

La transferencia internacional de materiales genéticos y los productos biotecnológicos se ve muy afectada por los distintos sistemas de derechos de patentes existentes en el mundo. Posiblemente en un futuro próximo sea posible una clarificación del asunto tras la culminación de la Ronda Uruguay de negociaciones multinacionales en el seno del GATT.

## **LA INDUSTRIA BIOTECNOLOGICA**

Las primeras empresas de biotecnología aparecieron a principios de los años 70. La mayoría se fundaron con capital conjunto o con carácter de sociedad limitada. Muchas fueron fundadas por profesores universitarios que preveían mercados lucrativos para los productos generados por sus esfuerzos de investigación. En 1980 se produjo la primera oferta pública de acciones, que abrió el camino a la financiación pública de la biotecnología. En 1986 existían 286 empresas de biotecnología agrícola (Marion, Wills and Butler). El ritmo de crecimiento se frenó a mediados de los años 80, ya que las empresas importantes emprendieron su propia investigación interna, adquirieron las compañías biotecnológicas más jóvenes y establecieron compromisos a largo plazo con las universidades.

Las empresas de biotecnología agrícola se encuentran

---

repartidas por todo el territorio de Estados Unidos y en el extranjero. En 1986, en Estados Unidos estaban el 56 % de estas empresas (Marion, Wills y Butler). Europa y Japón poseían alrededor del 27 y el 9 % del total, respectivamente, mientras que Australia e Israel tenían conjuntamente un 4 %. Dentro de Estados Unidos, las oficinas centrales de las empresas que tienen divisiones de biotecnología agrícola y la totalidad de las firmas independientes se localizan en 31 estados. La mayor concentración se encuentra en California, que contiene aproximadamente el 24 % de las empresas. Otros estados importantes son Nueva Jersey con el 11 %, Massachusetts con el 7,5 %, Wisconsin con el 5,4 % e Indiana con el 4,8 % (Marion, Wills y Butler). Por desgracia, estas cifras no reflejan con precisión la localización de la actividad biotecnológica. En Wisconsin, por ejemplo, se llevan a cabo varias otras operaciones biotecnológicas, como Agrigenetics, cuya sede central se encuentra en otro estado.

Marion, Wills y Butler determinaron la tendencia general de la investigación privada y el desarrollo de productos en Estados Unidos. El 59 y 58 % de las firmas biotecnológicas invierten en investigación animal y vegetal, respectivamente, y el 24 % en investigación sobre elaboración de alimentos.

Una característica de la industria biotecnológica, menos común en otras industrias, es la existencia de colaboración entre empresas. La principal fuente de ingresos de las pequeñas empresas biotecnológicas es la investigación por contratos. Las empresas con programas de investigación bien financiados y provistos del personal apropiado contactan con otras empresas que poseen experiencia de marketing. Otras veces, las empresas acuerdan sumar esfuerzos para trabajar en el desarrollo de un producto específico. Varias empresas tienen acuerdos de investigación con universidades o con investigadores del USDA para realizar investigación básica o pruebas de campo de productos de biotecnología agrícola.

La industria biotecnológica evolucionó rápidamente en la última década, y es posible que se produzcan nuevos cambios estructurales. Los inversores, con grandes expectativas de

---

beneficios de los productos biotecnológicos, están haciendo notables inversiones en investigación y desarrollo de productos. Sin embargo, dadas las incertidumbres asociadas al desarrollo y comercialización de los productos biotecnológicos, algunas firmas alcanzarán un gran éxito, mientras que otras no verán materializadas sus expectativas de beneficio.

### **Bibliografía**

- FALLERT, RICHARD, TOM MCGUCKIN, CAROLYN BETTS and GARY BRUNER: *bST and the Dairy Industry: A Summary Analysis*. U.S. Dept. of Agric., Econ. Res. Ser., Ag. Info. Bull. No. 535, Washington, D.C., October 1987.
- HUET, DARRELL L. and RICHARD E. JUST: «Policy Implications of Agricultural Biotechnology». *Amer. J. Agr. Econ.* 69 (1987): 426-31.
- KALTER, ROBERT J.: «The New Biotech Agriculture: Unforeseen Economic Consequences». *Issues in Science and Technology* 2 (1985): 125-33.
- MARION, BRUCE W., ROBERT L. WILLS and L. J. BUTLER: *The Social and Economic Impact of Biotechnology on Wisconsin Agriculture*. College of Agricultural and Life Sciences, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, May 1988.
- OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT, U.S. CONGRESS: *New Developments in Biotechnology Background Paper: Public Perceptions of Biotechnology*. OTA-BP-BA-45. Washington, D.C., May 1987.
- TWEETEN, LUTHER and MIKE WELSH: «The Economics of Agricultural Biotechnology: Discussion». *Amer. J. Agr. Econ.* 69 (1987): 440-2.

### **RESUMEN**

*En este artículo se han abordado varios aspectos económicos y sociales de la biotecnología, y examinado la creciente industria biotecnológica. Es fundamental que el público conozca los adelantos científicos que se están produciendo y las implicaciones y cuestiones que rodean a estas innovaciones.*

---

*La biotecnología ofrece un gran potencial para aumentar la producción agrícola y ganadera y la eficiencia de la elaboración de los alimentos, disminuir el coste de los alimentos, aumentar su calidad y seguridad e incrementar la competitividad internacional. Existen, sin embargo, ciertos riesgos, incluidos los ambientales, que deben valorarse. Si evaluamos cuidadosamente las ventajas y costes probables de la biotecnología, podremos garantizar la aplicación progresiva y razonable de la tecnología en nuestra sociedad. Además, todos los afectados deben evaluar de forma continua las tecnologías agrícolas que vayan apareciendo. La adopción de biotecnologías para la producción agrícola y ganadera requerirá contar con personal especializado en su gestión, así como ajustes en las prácticas productivas de los agricultores y cambios importantes en las políticas agrarias seguidas por los gobiernos.*

#### RÉSUMÉ

*Dans cet article il a été abordé divers aspects économiques et sociaux de la biotechnologie, et il a été examiné l'industrie biotechnologique, un secteur en plein essor. Il est essentiel que le public connaisse les progrès scientifiques qui ont lieu et les conséquences et autres questions résultant de ces innovations.*

*La biotechnologie offre un grand potentiel permettant d'augmenter la production agricole et de l'élevage ainsi que l'efficacité dans l'élaboration des aliments, de réduire le coût de ceux-ci, d'accroître leur qualité et leur sécurité et de développer la compétitivité internationale. Il existe, cependant, certains risques, y compris ceux de l'environnement, qu'il convient d'évaluer. Si nous soupesons soigneusement les avantages et les coûts éventuels de la biotechnologie, nous pourrions en assurer l'application progressive et raisonnable dans notre société. Par ailleurs, tous ceux qui en seront affectés doivent évaluer de façon continue les technologies agricoles qui apparaîtront. L'adoption de biotechnologies pour la production agricole et de l'élevage exigera des ajustements dans les aspects économiques et de gestion.*

#### SUMMARY

*This article discusses the implications of biotechnology for agriculture, especially economic and social issues. Public awareness and knowledge of the scientific advances of our day and the implications and issues surrounding these innovations are vital.*

*Biotechnology offers great potential to increase farm production and food processing efficiency, lower food costs, enhance food quality and safety, and increase international competitiveness. However, potential environmental and other risks must be assessed. By carefully evaluating the likely benefits and costs of biotechnology, the timely and reasonable application of technology in our society can be ensured. Furthermore, those affected must continuously assess emerging agricultural technologies. Adoption of biotechnologies for crop and livestock production will require skilled management and financial adjustments by producers, and farm policy adjustments by government officials.*