

La biotecnología, un apoyo más para el cambio tecnológico en el campo*

H. Susana Azpiroz R. •

Introducción

Debido a las políticas establecidas por el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial, México se ha visto en la necesidad de desarrollar una estrategia de modernización del campo mexicano, sustentada en la apertura comercial y la participación organizada de los campesinos. El Estado ha iniciado un extenso programa de modernización basándose en la nueva Ley Agraria (promulgada el 27 de Febrero de 1992) y adoptando un papel de promotor de las actividades agropecuarias, incentivando intensos cambios en el financiamiento, comercio interior, comercio exterior (Tratado de Libre Comercio), seguros, insumos, precios y desarrollo de la industria semillera.¹

En este contexto, la biotecnología juega un papel muy importante como un elemento más en la modernización del campo siempre y cuando la voluntad política de apoyo financiero a éste se convierta en realidad. La biotecnología puede coadyuvar al desarrollo del sector agropecuario de dos formas: una de ellas proporcionando los elementos indispensables para lograr una agricultura más racional dentro de un contexto de sostenibilidad y rentabilidad; la otra mediante la creación de empresas agropecuarias donde la componente biotecnológica

* Ponencia presentada en el XIV Seminario de Economía Agrícola del Tercer Mundo, organizado por el IIEc. en octubre de 1994.

• Investigadora Titular del Programa de Biotecnología del Cevamex-Circe-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chapingo, México.

¹ Solleiro R., J. L., J. G. Pérez, M. D. Rodríguez y C. Del Valle. *Debate e impactos de los derechos de obtentores vegetales en países en desarrollo*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Universidad de Amsterdam, 1994, 136 pp.

permita dar un valor agregado a los productos del campo que tengan la posibilidad de entrar a diferentes mercados con ventajas sobre otros productos similares.

Una de las principales premisas para lograr el cambio tecnológico en el campo es la utilización de especies mejoradas, tanto animales como vegetales. Para obtenerlas en el caso de cultivos vegetales anuales se requiere de un proceso con una duración de siete a diez años de trabajo de investigación y pruebas preliminares de rendimiento, el cual en las especies perennes y animales aún es más largo. Sin embargo, con las técnicas que ofrece actualmente la biotecnología es posible reducir dichos procesos en más de un 50%. De tal manera que si el productor recibe genotipos de alta calidad capaces de anticiparse a la demanda del mercado, se garantiza un ciclo de renovación y superación constante para la plantación lo que permite que el proceso de modernización se convierta en un continuo sin depender de factores externos.

Se estima que una vez que las condiciones de modernización en el sector agropecuario repercutan en la estabilidad económica, se iniciará la creación de empresas que utilicen la biotecnología como un componente más de su cadena productiva, siempre y cuando exista un inversionista que aporte su capital bajo riesgo compartido.

Biotecnología y agricultura

Las técnicas que permiten la multiplicación rápida de genotipos con una producción industrial de alto número de individuos uniformes, libres de enfermedades y/o con variabilidad genética capaces de mejor adaptación al medio ambiente, son:

- La ingeniería genética.
- Los anticuerpos monoclonales.
- El cultivo de células, tejidos y órganos.
- Los marcadores genéticos moleculares.

Ingeniería genética

La manipulación de los genes representa la metodología más importante dentro del desarrollo biotecnológico. La *ingeniería genética* o tecnología del ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante consiste en el manejo de información contenida en el ADN y su inserción dentro de una misma especie o entre ellas, con la finalidad de obtener genotipos que posean caracteres de importancia agropecuaria y comercial.

Con esta técnica la transformación genética de especies vegetales y animales no es más que una retrocruza instantánea, mientras que por el método tradicional, se requiere de seis a ocho generaciones que en tiempo representa el mismo número de años.

Las técnicas de transformación son variadas, sin embargo, de manera general se clasifican en *directas e indirectas*; las primeras comprenden la electroporación, la biobalística, la fusión de protoplastos o simplemente la inyección directa de ADN en células y órganos inmaduros; la indirecta utiliza vectores que pueden ser hongos, virus y bacterias, dentro de estas últimas *Agrobacterium tumefaciens* es una de las más empleadas.²

Este tipo de transformaciones ha dado lugar a la obtención de plantas de tomate con resistencia a insectos, donde se ha introducido un gene que produce una endotoxina, perteneciente a una bacteria, *Bacillus thuringensis*. Esta endotoxina tiene una función proteolítica y perfora la pared de las células de los insectos que la consumen efectuándose una lisis de ellas. Esta acción evita que los lepidópteros y algunas especies de coleópteros destruyan la planta de tomate durante su ciclo vegetativo.³

En el caso de las cucurbitáceas, se ha logrado introducir un gen que pertenece al propio virus que ataca a esta especie severamente y causa serios problemas en la producción comer-

² Atkinson, R. G.; R. C. Gardner. "Agrobacterium-mediated transformation of pepino and regeneration of transgenic plants", *Plant Cell Reports*, Vol. 10, núm. 4, 1991, pp. 208-212.

³ Fischhoff, D. A., K. A. Bowdish, F.J. Perlak, P.G. Marrome, S. H. McCormich, J. G. Niedermeyer, D. A. Dean, K. Kusano-Kretzmer, E. T. Fraley. *Insect tolerant transgenic tomato plants biotechnology*, 5, 1987, pp. 807-813.

cial, el cual impide que el virus, al entrar a la planta, pierda su cápsula protectora e inicie su ataque, de esta manera el cultivo se protege en forma autónoma y sin uso de pesticidas.⁴

Indirectamente, este tipo de transformaciones en plantas favorece el medio ambiente, ya que se reduce el uso indiscriminado de pesticidas. En este mismo sentido se han realizado estudios específicos sobre predadores que ejercen un control natural en algunos insectos que atacan las cosechas comerciales. Uno de estos casos es el que se refiere a los baculovirus que atacan las larvas de Lepidópteros. Estos virus han sido transformados agregando a su genoma un gene que produce una neurotoxina. Este gen sólo se encuentra en himenópteros y su acción es paralizar la larva infectada evitando el ataque devastador sobre las cosechas. Por otra parte, esta innovación tecnológica permite la creación de bioinsecticidas, con lo que podría lograrse un control integrado de plagas.

Otro tipo de transformación también en tomate es la introducción del gen antisentido de la poligalacturonasa que posee la misma especie. Este gen impide la maduración del tomate; por lo que la comercialización se efectúa con mayor facilidad, al llegar al mercado en buenas condiciones.

Asimismo la ingeniería genética de la fijación de nitrógeno ha logrado grandes avances tanto para mejorar genéticamente a las bacterias simbióticas como para la propia transformación de plantas capaces de fijar por si mismas el nitrógeno del aire.

La ingeniería genética en animales ha avanzado considerablemente desde el controvertido experimento en 1980 del super ratón, el cual se obtuvo por la introducción de copias múltiples de la hormona de crecimiento a un embrión en crecimiento de un ratón normal. Las especies animales transformadas con la incorporación de genes funcionales ha permitido obtener especies más eficientes en la producción de carne.⁵

Estos ejemplos son sólo algunos de los desarrollos tecnológicos que se realizan para lograr que el sector agropecuario

4 Quemada, H. D., D. Gonsalvez, J. L. St. Paul. *Phytopatology*, Vol. 81, núm. 7, Mím. 1991, pp. 794-802.

5 Van Brunt J. "Molecular farming: transgenic animals as bioreactors", *Biotechnology*, Vol. 6, núm. 10, 1988, pp. 1159-1164.

obtenga beneficios y éste pueda ser explotado en forma racional. Es evidente que estos nuevos materiales transgénicos deberán ser utilizados con precaución pensando en una agricultura sostenible a través del tiempo y tratando de evitar la pérdida de variabilidad genética existente en nuestro país. Quizás la explotación de esa gran variabilidad de productos alimenticios sea apoyada por estas nuevas técnicas de transformación para ofrecer tanto productos alimenticios nuevos a los mercados como otros de utilidad industrial. Esto último implica que el gobierno tendría que apoyar fuertemente la investigación biotecnológica en especies nativas para ofrecer dichas opciones.

Anticuerpos monoclonales

Las respuestas inmunológicas de los organismos al ataque de patógenos permite la proliferación clonal de los linfocitos que producen, y neutralizan las sustancias extrañas en un ser vivo. Estos anticuerpos han sido usados en patología vegetal y animal para detectar y seleccionar individuos enfermos o sanos, lográndose obtener individuos libres de patógenos que pueden ser utilizados en la producción comercial de productos de interés económico.

En general el empleo de estas técnicas de diagnóstico (metodología de elisa o de latex) ha permitido el control oportuno de las pestes, evitando con ello desastres regionales y/o nacionales, tanto a nivel pecuario como agrícola.

El uso de estas metodologías se está incrementando en zonas productoras de ganado y frutales. La investigación científica en el país ha permitido la obtención de metodologías más avanzadas como es el uso de la amplificación del ADN por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), que se emplea para diagnosticar en forma temprana la brucelosis (lográndose diferenciar los anticuerpos de un animal vacunado y uno enfermo) en diferentes tipos de ganado, y para detectar la tristeza de los cítricos, enfermedad producida por un virus.

Cultivo de células, tejidos y órganos

Esta técnica se ha desarrollado desde principios de este siglo y en las últimas décadas ha permitido generar metodologías como la ingeniería genética y la transformación de especies.

Con el cultivo de tejidos y órganos inmaduros —animales y vegetales— se ha tratado de apoyar las técnicas tradicionales de mejoramiento genético para mayor eficiencia de sus procesos, logrando obtener seres vivos en forma acelerada, a gran escala, y fuera de su medio natural.

Estas tecnologías llamadas genéricamente “cultivo de tejidos” comprenden varios niveles, tipos de célula, tejido y órganos, tales como:

- El cultivo de embriones inmaduros somáticos y cigóticos.
- El cultivo de gametofitos para la obtención de haploides.
- El cultivo de protoplastos para la obtención de híbridos somáticos.
- La selección *in vitro*.
- La regeneración *in vitro*.

El proceso del cultivo comienza en la colocación del órgano o fragmento de tejido (explantes) o de células en un medio de cultivo que puede ir de líquido a sólido. El tejido desorganizado prolifera rápidamente formando callo. A partir de este punto es factible emplear diversas formas de cultivo para propiciar desarrollos de individuos uniformes, libres de enfermedades o de diversas formas de variación genética.

Cultivo de embriones

En el sector agropecuario el cultivo de embriones inmaduros somáticos y cigóticos permite desarrollos tecnológicos muy variados, por ejemplo:

En el caso del mejoramiento genético de plantas, el cultivo de embriones inmaduros cigóticos evita la larga fase de maduración y la dormancia de las semillas, reduciendo notablemente

la duración del ciclo de selección.⁶ Por lo que esta metodología permite la obtención acelerada de líneas endocriadas para la fabricación de híbridos en un tiempo reducido (50% menos del tradicional siete a diez años). Asimismo, se pueden realizar retrocruzas aceleradas para la introducción de algún gen de importancia agronómica o comercial. Estas retrocruzas permiten obtener plantas con resistencia a enfermedades o con caracteres como androesterilidad en menos de 2 años, lo que significa hasta un 60% menos del tiempo que se requiere en la forma tradicional.

Por otro lado, en el caso del cultivo de embriones somáticos es posible obtener poblaciones vegetales y/o animales con características similares, esta técnica es útil en la propagación masiva de algún genotipo especial.

En el sector pecuario el cultivo de embriones de varias especies animales se utiliza en forma rutinaria con la finalidad de lograr altos rendimientos con niveles de productividad homogénea. En general este cultivo de embriones se realiza durante las primeras etapas de desarrollo para después ser implantado en nodrizas de la misma especie.

Existen algunas otras aplicaciones prácticas de esta metodología, sin embargo, sólo se describen de manera breve las mencionadas anteriormente.

Cultivo de gametofitos

Consiste en cultivar *in vitro* gametofitos masculinos o femeninos. En el caso de plantas, dichos cultivos proliferan y permiten el desarrollo de plantas haploides, en el de animales proliferan las células haploides que se utilizan en estudios específicos de genética animal.

⁶ Alissa A., R. Jonard, H. Serieys, P. Vincourt. *La culture d'embryons isolés in vitro dans un programme d'amélioration du tournesol C. R.*, Acad. Sc. Paris, T. 302, Serie II, núm. 5, 1986, pp. 161-164. Azpiroz, H.S., P. Vincourt, H. Serieys, A. Gallais. *La culture in vitro des embryons immatures dans l'accélération du cycle de selection des lignées de tournesol et ses effects morphovégétatifs*, Aelia 10, 1987, pp. 35-38.

En el mejoramiento genético las plantas haploides se emplean para la producción de plantas endogámicas doblando el número cromosómico, por lo tanto se ahorra un tiempo considerable en la producción de líneas endocriadas necesarias en la obtención de híbridos comerciales.

El proceso de obtención de líneas homocigotas es largo, en promedio de ocho a diez años, por lo que esta metodología reduce el tiempo hasta en un 70 por ciento.

Cultivo de protoplastos

Consiste en cultivar células carentes de pared celular en medios de cultivo que permitan la fusión entre ellas, para lograr híbridos somáticos de la misma especie o interespecíficos.

Estas células o protoplastos son viables y sintetizan rápidamente una nueva pared celular, crecen y se pueden dividir hasta regenerar plantas de algunas especies. Una de las características de los protoplastos es que absorben con gran facilidad el ADN foráneo para integrarlo a su genoma.

En especies como tabaco (*nicotiana tabaco* L.), papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Lycopersicum* spp.), colza y arábido (*Arabidopsis talyana*), se han obtenido híbridos somáticos, sin embargo, el uso está limitado debido a que no siempre es posible regenerar plantas a partir de protoplastos.

Selección in vitro

En el caso específico de plantas la selección *in vitro* representa la posibilidad de obtener genotipos mejor adaptados al medio biótico y abiótico. Esta metodología consiste en someter bajo presión de selección, tejidos, células u órganos inmaduros de especies con ciertas características, en el medio de cultivo adicionado con sales, toxinas filtradas de organismos patógenos o plaguicidas. Los explantes que logren sobrevivir en esos medios darán origen a individuos con ciertos niveles de resistencia al producto utilizado como agente de presión.

La ventaja potencial de esta técnica radica tanto en la rapidez de selección como en la posibilidad de efectuar el tratamiento sobre un número importante de individuos ubicados en un espacio relativamente pequeño, si se compara con el método tradicional de selección donde se necesitan varias hectáreas y localidades, además de los procesos de inoculación o los problemas climáticos que pueden desviar dicha selección.

Regeneración in vitro

La regeneración *in vitro* de un individuo a partir de explantes es básica para el éxito de las aplicaciones biotecnológicas. En ciencia básica lo más importante es comprender un fenómeno biológico, mientras que para la biotecnología la aplicación de la técnica, es lo más valioso, por eso la regeneración *in vitro* debe ser un sistema exitoso en todas las especies. Para esto, es necesario cumplir con tres condiciones: buena selección del explante, elección apropiada del medio de cultivo y el control adecuado de las condiciones físicas donde se desarrollará ese individuo.⁷

En vegetales existen dos vías de evolución dentro de la regeneración *in vitro*, la organogénesis en la que el explante evoluciona fisiológicamente de meristemo hasta formación de una planta completa, y la embriogénesis somática donde de la masa de células originales surgen los embriones que darán origen a individuos idénticos *in vitro*. Ambas son formas eficientes para la multiplicación clonal de individuos y permiten la posibilidad de ser utilizadas eficientemente para regenerar plantas transformadas, obtenidas por ingeniería genética.

⁷ Thorpe, T. A. "Organogenesis *in vitro* structural physiological and biochemical aspects", *Int. Rev. of Cytology*, Supplement 11A, 1980, pp. 71-111.

Marcadores genéticos moleculares

Estos marcadores son una herramienta más que la biotecnología ha puesto a disposición de la agricultura para lograr, por un lado, plantas mejor adaptadas al ambiente y por otro, el control a través de patrones moleculares de los genotipos existentes en la naturaleza.

Estos marcadores son la huella digital de plantas y animales, que permite diferenciarlos entre sí; asimismo, proporciona información acerca de sus características de adaptación como son: resistencia a enfermedades, plagas, sequía y metales tóxicos en el caso de plantas, y en el de animales, información sobre su capacidad de conversión de alimento en carne, etcétera.

Entre estos marcadores genéticos moleculares existen diferentes tipos, los RFLPs que se refieren al polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción del ADN. Estos marcadores no son más que diferencias en una o varias bases que componen el ADN debido a deleciones o inversiones, así que al comparar un individuo con otro se pueden establecer las diferencias genéticas. Otro tipo de marcadores son los RADPs que es el polimorfismo del ADN amplificado al azar, estos marcadores se basan en la amplificación aleatoria del ADN genómico de un individuo utilizando fragmentos pequeños de ADN llamados oligos, que están compuestos de 10 oligonucleótidos, estos últimos se insertan en cualquier parte del genoma donde encuentran homología en su composición y permiten la amplificación de un mismo fragmento del ADN por conocer. Un reciente tipo de marcador son los llamados microsatélites que se refieren a secuencias repetidas de ADN (normalmente tripletas) que se hibridan con fragmentos homólogos en el ADN en estudio y son característicos de un solo individuo.

La utilidad de estos marcadores reside en que pueden asociarse con características de importancia agronómica o comercial de los cultivos o de las razas animales, y permiten al mejorador o al productor seleccionar los mejores individuos de acuerdo con un patrón genético definido, o bien, protegerlos con patentes o sistemas de protección (UPOV en caso de plantas), para lograr una explotación más racional y beneficiar al productor (u obtentor).

Este tipo de marcadores al ser usado en mejoramiento genético de plantas permite acelerar la obtención de nuevos genotipos con mejores características; el fitomejorador puede ser asistido para lograr una selección dirigida hacia cierta propiedad de la planta. Asimismo la selección de los individuos es más rápida, pues aquéllos que fenotípicamente presenten la cualidad pero genotípicamente sean heterocigotos para ésta, serán eliminados y no pasarán al siguiente ciclo de selección en el campo, ahorrándose de esta forma el costo de la siembra de individuos indeseables genéticamente.

Otro uso práctico de esta técnica es en el control de la producción de semilla híbrida. Este uso es atractivo para el nuevo productor de semilla, ya que con esta metodología podrá controlar que el trabajo de los polinizadores o de los desespigadores (según sea el caso de la especie) sea eficiente y en realidad se obtengan híbridos y no autofecundaciones.

La calidad genética tanto en semillas vegetales como en productos animales (semen, óvulos fecundados) y razas animales pueden controlarse antes y después de las transacciones comerciales o simplemente para certificación del producto y obtención de una marca registrada.

Importancia de la biotecnología agropecuaria

Gotsch, y Rieder⁸ realizaron un estudio sobre la importancia futura de la biotecnología mediante el método de Delphi,⁹ encontrando que con el incremento del gasto en investigación y desarrollo aunado a las políticas de adopción tecnológicas favorables se lograría la reducción en el tiempo de obtención de nuevos genotipos, resolviéndose algunos de los problemas más apremiantes en el sector. Sin embargo, concluyeron también que aún con el uso de la tecnología actual es posible resolver algunos de estos problemas.

8 Gotsch, N. y P. Rieder. "Future importance of biotechnology in arable farming", *Tibtech* 7, 1989.

9 Ramírez, F. J. "La técnica Delphi", en *Cuadernos Prospectivos*, núm. 5a, Centro de Estudios Prospectivos, Fundación Javier Barrios Sierra, 1977.

Otro estudio realizado por Shamel y Chow indica que el impacto de la biotecnología en el sector agropecuario en los países en desarrollo tiene sus inicios en 1993, mientras que para los subdesarrollados éste repercutirá a mediados del siglo XXI.

Las áreas en donde mayor desarrollo tendrá la biotecnología agropecuaria serán:

1. Mejora al medio ambiente y buenos rendimientos en los cultivos mediante el *control integrado* de bacterias, virus, hongos e insectos, a través del uso de bioinsecticidas y plantas transgénicos.
2. Valor agregado a los productos vegetales (más sólidos totales, mejor sabor, color, larga vida de anaquel, mayor contenido de productos industrializables) con la transformación genética de las especies de valor comercial.
3. Producción de semillas normales y artificiales con características de alta calidad genética mediante el uso generalizado del cultivo de tejidos y marcadores genéticos moleculares, lo primero en laboratorios particulares de producción y lo segundo en laboratorios especializados para certificación.
4. Producción de promotores de crecimiento, hormonas para estimular la producción de diferentes tipos de ganado y los subproductos de éstos (leche, carne, huevo).
5. Fortalecimiento de la medicina veterinaria con el uso de nuevas vacunas de la ingeniería genética que eviten el riesgo al consumir productos de origen animal.

Los impactos socioeconómicos que tendrá la aplicación de la biotecnología a largo plazo si es usada racionalmente provocará un cambio en las técnicas agronómicas propiciando la industrialización de las mismas, a estos cambios Fowle *et al.* los denomina *revolución genética*. En este estudio se comparan la *revolución verde* y este nuevo cambio tecnológico, donde se destacan los impactos de gran alcance de la biotecnología en la agricultura modificando todo un sistema de producción de alimentos y productos industriales de origen vegetal y animal; pero sin duda los beneficios estarán dirigidos a un grupo minoritario, principalmente en los países industrializados.

Respecto a México, Solleiro y Quintero¹⁰ empleando la misma técnica de Delfi realizaron un estudio sobre prioridades de investigación y desarrollo en investigación agroalimentaria. En el área vegetal, se presentan como prioritarios para el desarrollo biotecnológico los cultivos comerciales ligados a la exportación (hortalizas, frutales y plantas ornamentales). En el caso de los granos básicos, las aplicaciones se determinaron considerando su importancia socioeconómica en el país.

Otro de los resultados interesantes de este estudio muestra qué técnicas de la biotecnología deben aplicarse para solucionar problemas en determinadas etapas de cultivos definidos, por ejemplo:

1. Uso de transformación genética en frutales, hortalizas y ornamentales para enfrentar problemas de postcosecha (madurez, control de insectos y patógenos).
2. Uso de técnicas que aceleren la obtención de genotipos con mayor productividad, calidad y productos industrializables en hortalizas y granos básicos.

Para el sector pecuario se considera que la biotecnología tendrá que aplicarse en orden de importancia a los siguientes tipos de ganado: porcino, bovino, pollos de engorda, aves de postura y en la producción agrícola.

Las tecnologías que consideraron como prioritarias para este sector, fueron:

1. El uso intensivo de sistemas de diagnóstico y vacunas, producto de la ingeniería genética.
2. Empleo de promotores de crecimiento en pollos de engorda.
3. La utilización de ingeniería genética para lograr resistencia a enfermedades en las abejas.

¹⁰ Solleiro, J. L., R. Quintero. *Prioridades de investigación y desarrollo en biotecnología agroalimentaria*, IDRC-CIT-UNAM, 1993, 56 pp.

Reflexiones finales

Las posibilidades reales de la biotecnología aplicada al sector agropecuario que se obtienen en países desarrollados, cada vez se hacen más tangibles y se emplean ya en forma rutinaria para casas comerciales que producen semilla, pies de cría e insumos agropecuarios.

Los productores deben estar preparados para el uso de los nuevos productos biotecnológicos, logrando los financiamientos adecuados para aportar un cambio de tecnología en su parcela. Asimismo, la inversión en ciencia y tecnología por parte del Estado debe ser decidida y bien dirigida, ya que la diversidad genética en nuestro país promete aplicaciones biotecnológicas que permitirán beneficiar económicamente al sector agropecuario.

A pesar de que se insiste en lo limitado de los beneficios sociales con la nueva revolución genética, ésta no puede frenarse pero sí dirigirse con la definición de prioridades e identificación de oportunidades por parte de los tomadores de decisiones, quienes deberán marcar estrategias con actitudes positivas ante los diferentes sectores sociales que componen el campo mexicano.