

## **Biotecnología y Producción Agroalimentaria**

**Dinah Rodríguez Chaurnet\***

Biotecnología y desarrollo científico

Hoy día, la revolución científico-técnica representada por la robótica, la ciencia de materiales y los avances de la biotecnología está llamada a producir importantes cambios en el ámbito técnico, económico, social y político y, en general, en todos los ámbitos de la actividad humana.

En tanto que el empleo tecnológico de la ciencia se convierte en esta etapa en parte indispensable de las fuerzas productivas de punta, le imprime nuevas perspectivas a la forma de orientar y apropiar la investigación:

1. El financiamiento de la actividad científica adquiere un marcado carácter monopólico que se expresa en la privatización del conocimiento por parte de la gran empresa privada que día con día aumenta su patrocinio en el financiamiento de la producción científica en las universidades, con el fin de hacerla "rentable" con base en sus aplicaciones comerciales<sup>1</sup>.

---

\* Investigadora de tiempo completo y coordinadora del área de Agroindustria Alimentaria en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM.

La autora agradece la cooperación de los licenciados Argelia Salinas y Felipe Torres para la elaboración de los cuadros sobre la Investigación Biotecnología Alimentaria en México.

<sup>1</sup> Este estilo de funcionamiento, típico de la sociedad capitalista industrializada, aprovecha

2. La innovación tecnológica adquiere el doble carácter de medio de producción y mercancía, cuyo valor de cambio está representado por la patente, que actúa como un elemento de protección que garantiza y estimula las inversiones en investigación y desarrollo, así como su apropiación privada.<sup>2</sup>
3. Las grandes firmas que invierten en investigación y desarrollo (I-D) ante la perspectiva de promover de manera costeable antiguas y nuevas áreas de investigación con mayor productividad, conducen a un aumento imprevisto del conocimiento como lo confirma, en el caso de la biotecnología, el crecimiento "exponencial" del capital en nuevas industrias entre 1978 y 1983, que ha superado, por mucho, a la inversión en cualquier otra tecnología de punta.<sup>3</sup> (Véase Figura 1).
4. Considerada globalmente, la brecha tecnológica entre países desarrollados y aquéllos de menor desarrollo se acrecienta, en tanto el avance tecnológico amenaza convertirse en instrumento de dominio y dependencia en manos de potencias industriales.

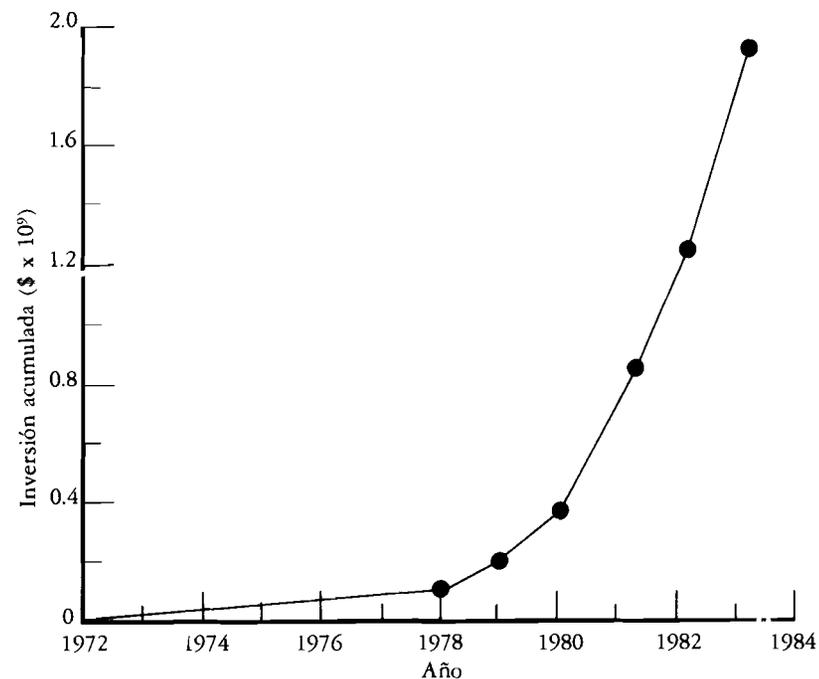
La declinación en el mercado mundial de la demanda de productos del mundo desarrollado y el incremento, por otra parte, del conteni-

el criterio costo-beneficio que se convierte en este caso en financiamiento-logro. Sólo en etapas de grave urgencia, como la Segunda Guerra Mundial, o de grave responsabilidad política que implica, por ejemplo, la investigación espacial es cuando la acción pública se muestra más directa. Así, en el campo específico de la Biotecnología, en Estados Unidos son las grandes compañías las que proveen una alta proporción de fondos para la investigación universitaria. Véase al respecto: Kloppenburg, Kleiman y Otero, "La Biotecnología en Estados Unidos y el Tercer Mundo", en *Revista Mexicana de Sociología*, ISS-UNAM, Año L, núm. 1, enero-marzo 1988.

<sup>2</sup> En el campo de la biotecnología, el esfuerzo de las empresas por patentar no sólo nuevas variedades de organismos vivos, sino aun genes identificados y clonados en seres vivos parece cobrar realidad con el criterio de que el sistema de patentes habrá de promover el progreso de las industrias biotecnológicas. En abril de 1987, la United States Patent & Trademark Office aprobó la posibilidad de patentar animales nuevos, producto de la ingeniería genética. Symposium on the Protection of Biotechnological Inventions (WIPO), Cornell University, Department of Agricultural Economics, Ithaca, New York, 1987.

<sup>3</sup> Haching, J.A. *Economics of Biotechnology*, Cambridge University Press, 1986.

Figura 1  
Inversión de capital en compañías biotecnológicas



FUENTE: Haching, J.A. *Economics of Biotechnology*, Cambridge University Press, 1986. Se considera que el crecimiento del capital en industrias biotecnológicas entre 1978 y 1983 es exponencial. La velocidad de ese crecimiento ha sido superior al de cualquier otra tecnología de punta. La inversión anual equivale aproximadamente al 30 por ciento de las ventas de productos biotecnológicos de segunda generación. La proliferación de compañías de ingeniería genética ha ocurrido principalmente en los últimos 6 o 7 años. Las empresas transnacionales farmacéuticas y de productos químicos de uso agrícola se sumaron al *boom* biotecnológico, al principio (1973) adquiriendo compañías semilleras y, desde 1976, fundando empresas de investigación y desarrollo. Los gobiernos de países altamente desarrollados —y, por lo menos, uno del Tercer Mundo: Cuba— han establecido coordinaciones y planes de investigación y desarrollo biotecnológico. El financiamiento público y privado, la utilización de los recursos de instituciones educativas, un régimen de patentes más proteccionista, la posibilidad de utilizar un mismo descubrimiento tanto para la industria farmacéutica como para la de insumos agrícolas y otras, contribuyen a acelerar la inversión en esta actividad.

do tecnológico de las importaciones de los países subdesarrollados, sólo es reflejo de la profunda restructuración económica que impulsan los países industrializados al promover, en el marco de la revolución científico-técnica, algunas tecnologías que, o bien les otorguen ventajas comparativas antes inexistentes, o bien les permitan esquivar algunos efectos de la profunda crisis económica actual.

Destacan en forma notoria como agentes de un crecimiento espectacular, en el caso particular de la biotecnología, países como Estados Unidos, Japón y la Comunidad Económica Europea. Aunque, como se mencionó en líneas anteriores, la investigación más pujante se lleva a cabo por empresas privadas; el apoyo gubernamental sigue siendo importante en Estados Unidos, Japón, RFA, Francia y Gran Bretaña. Así, todo parece confirmar que el desarrollo biotecnológico de punta en los momentos actuales, como asevera un destacado especialista,<sup>4</sup> se habrá de dar principalmente en el extranjero, siendo los sectores de mayor penetración, a nivel mundial, el agrícola, de alimentos y salud.

Los campos prioritarios que desde el punto de vista tecnológico son susceptibles de desarrollo en nuestro país, con alta probabilidad, son los siguientes:

- Alimentos y forrajes
- Productividad agrícola
- Productividad agropecuaria
- Contaminación
- Energía
- Salud
- Minerales
- Petróleo.

#### Revolución biotecnológica: conceptualización y aplicaciones

Si bien la Biotecnología es tan antigua como el hombre mismo, a partir del momento en que utilizó las fermentaciones microbianas en la producción de cervezas, quesos y similares,<sup>5</sup> muchos aconteci-

<sup>4</sup> Rodolfo Quintero Ramírez. *Prospectiva de la Biotecnología en México*. Fundación Javier Barros Sierra-CONACYT, México, 1985, pp. 461 y 473.

<sup>5</sup> Los primeros casos de fermentación microbiana para producir alcohol en la preparación

mientos desde entonces empezaron a moldear su desarrollo hasta culminar en lo que hoy conocemos como "nueva" biotecnología:

Un primer momento se establece a partir de 1860, al determinar Mendel las leyes de la herencia. Posteriormente, en 1911, Johansen define la unidad de información genética con el nombre de gene.

En la segunda mitad del siglo pasado, Pasteur inaugura la primera revolución biotecnológica, al encontrar que la fermentación es un producto que guarda relación con lo 'vivo' y no con la química pura.<sup>6</sup>

En 1953, Crick y Watson descubren que el "cerebro" de todas las células es el ADN (ácido desoxirribonucleico), es decir, la molécula portadora de la información genética de la mayoría de los sistemas vivos, organizada en forma de dos filamentos enrollados uno sobre el otro, formando una "doble hélice".

En 1973 se desarrollan nuevas técnicas que hicieron posible la transferencia de un gene a un microorganismo, lográndose, por primera vez clonar un gene.

En 1976 se funda, en Estados Unidos, la primera empresa para explotar comercialmente el ADN recombinante: Genetech.

En 1981 se realiza la transferencia de genes entre dos plantas diferentes: frijol, o girasol.

En 1982 se aprueba en Estados Unidos y Gran Bretaña la entrada al mercado del primer gran producto biotecnológico comercial, proveniente del ADN-recombinante: la insulina humana, fabricada por bacterias a las cuales se ha transferido el gene humano de la insulina.

de cerveza fue utilizada por sumerios y babilonios 6000 años a.C. Véase Yanchinsky S. *La revolución biotecnológica*, Capítulo 2, Editorial Debate, Madrid, 1985.

<sup>6</sup> Jean Jacques Solomon. *L'impact des biotechnologies sur le Tiers Monde*, Fast, Bruselas, 1983. Asimismo, véase Rodolfo Quintero. *Ingeniería Bioquímica: teoría y aplicaciones*, Ed. Alhambra, México, 1981.

En 1983, por primera vez se logra la transferencia de genes específicos de una bacteria a una planta (la petunia), y la expresión del gene en una planta receptora.

En 1984, las autoridades agrícolas de Estados Unidos autorizan las pruebas de campo de plantas transformadas genéticamente.

En 1985 se obtienen células de tabaco productoras de su propio insecticida

Nueva y vieja biotecnología

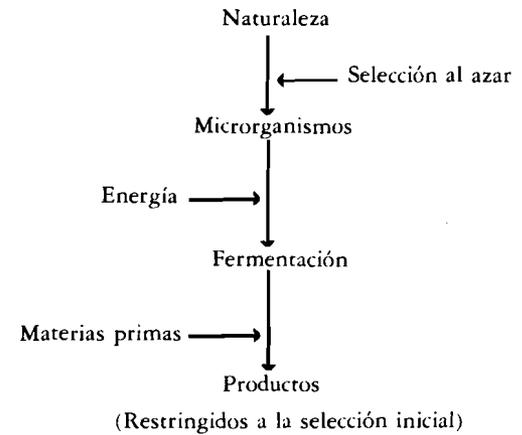
Así, lo que marca la diferencia fundamental entre vieja y nueva biotecnología es que, en aquélla, el proceso para obtener un producto estaba determinado por la selección empírica y, es decir, por el azar, ya que no se sabía cómo se expresaban, conservaban, interactuaban las características de los seres vivos.

En la nueva biotecnología, gracias a las técnicas del ADN recombinante es posible, con la manipulación de un código genético completamente caracterizado, realizar experimentos en poco tiempo; aportar características de especificidad y precisión en la modificación genética así como la obtención de menos variantes de un organismo con las características deseadas, rasgos que están acordes con el carácter de la actual revolución científico-técnica (Figura 2).

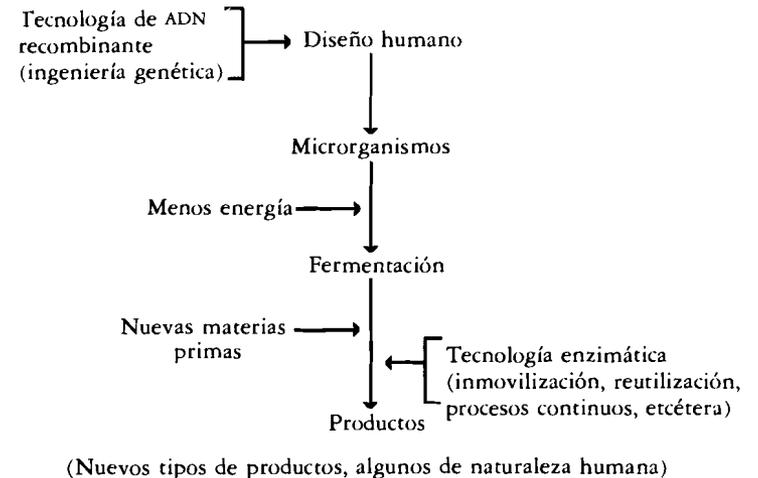
De manera complementaria, podríamos añadir que la biotecnología de primera generación está constituida por la fermentación alcohólica; bebidas y alimentos fermentados (queso, yogurth, etcétera); la de segunda generación por la producción de antibióticos, aminoácidos, vacunas, toxoides y antígenos; y la de tercera generación, o nueva biotecnología, por las técnicas del ADN recombinante (ADNr) y la obtención, hasta ahora, de un número limitado de productos como la insulina humana, la hormona del crecimiento, los interferones y la vacuna de la hepatitis.

En el estado actual de cosas, los logros de la tercera generación son todavía limitados, comparados con los de la primera y segunda. No hay que olvidar, sin embargo, que "se trata de una industria en gestación, iniciada hace apenas una década". Empero, se considera que "existen muchos microorganismos por descubrir y que, aún en los

Figura 2  
Biotecnología tradicional



"Nueva" biotecnología



FUENTE: A. López Munguía C. y R. Quintero Ramírez (1987).

NOTA: La Figura 2 permite ejemplificar cómo la producción de enzimas, que se convertía en paso limitante para la tecnología enzimática, con las "nuevas tecnologías de la ingeniería genética es posible esperar que a mediano plazo se puedan producir grandes cantidades de enzimas a bajo costo con posibles ahorros de energía y la utilización de nuevas materias primas." *Ibid.*, p. 13.

ya conocidos, el genoma no se ha investigado en detalle y sus posibilidades de manipulación son todavía numerosas.<sup>7</sup>

En cuanto a la magnitud de mercado, se puede decir que el mercado biotecnológico actual —primera y segunda generación— es ligeramente superior al 12 por ciento del mercado petrolero y que el conjunto de productos de la “segunda generación” es comparable al mercado azucarero mundial.<sup>8</sup>

Por lo que toca al mercado potencial de la biotecnología de tercera generación, una estimación<sup>9</sup> considera que, para 1990 ésta oscilará alrededor de los 200 000 millones de dólares para el año 2000. En estas proyecciones es sobresaliente la participación del mercado agropecuario y, aunque las estimaciones globales tienen amplios márgenes de variación, ello demuestra que aún existe gran incertidumbre sobre qué productos llegarán a la etapa de comercialización.

Ahora bien, con base en lo anteriormente expuesto, podemos entender por biotecnología “moderna” el aprovechamiento intensivo de los derivados de la materia viva (células, tejidos, extractos, enzimas) para producir bienes y servicios en las áreas de alimentos, farmacia, industria química e ingeniería ambiental.<sup>10</sup>

<sup>7</sup> Enrique Galindo Fentanes. “Biotecnología: oportunidades y amenazas”, en *Ciencia y Desarrollo*, Año XVI, núm. 80, mayo-junio 1988, p. 27.

<sup>8</sup> *Ibid.*, p. 28.

<sup>9</sup> Rodolfo Quintero Ramírez. *Op. cit.*, pp. 462 y 463.

<sup>10</sup> Gustavo Viniestra. *La biotecnología: oportunidades y limitaciones*. Primer curso de biotecnología alimentaria. PUAL-UNAM, 1987.

Existen, sin embargo, algunas imprecisiones en la conceptualización del término biotecnología, depende del enfoque que se haga con base únicamente a la ingeniería genética o bien a los demás procesos industriales. Así, las más importantes definiciones de los países con mayor avance en el terreno de la biotecnología, aunque no varían en lo esencial, sí denotan la orientación que cada uno pretende darle:

En su sentido amplio, la biotecnología engloba los procesos industriales basados en sistemas ecológicos que involucran microorganismos naturales con microorganismos que han sido modificados por la ingeniería genética (Australia).

Involucra la utilización de un proceso biológico, sea microbiano, planta o célula animal o sus constituyentes para proporcionar bienes y servicios (Canadá).

Es el uso integrado de la bioquímica, microbiología y ciencias de la ingeniería a fin de lograr una aplicación tecnológica industrial de las capacidades de los microorganismos en el cultivo de tejidos y sus partes (Federación Europea de Biotecnología).

La biotecnología tiene que ver con la introducción de métodos biológicos dentro del marco de procesos técnicos y producción industrial. Involucra la aplicación de la microbiología y la bioquímica junto con la técnica química y el proceso de ingeniería (República Federal Alemana).

Consiste en la explotación industrial del potencial de los microorganismos de células animales, plantas y organismos celulares (Francia).

## Principales técnicas utilizadas

Mediante sus líneas fundamentales: ingeniería genética, tecnología enzimática y de fermentaciones, así como cultivo de tejidos vegetales, la biotecnología ha venido conformando su desarrollo con base en el aporte sistemático de varias ramas de las ciencias naturales.

### *Ingeniería genética molecular*

Considerada como el mayor logro biológico en lo que va del siglo, se le conoce como ADN recombinante (ADNr) o “recombinación genético *in vitro*”. Consiste en el intercambio de fragmentos de ADN de variedades o especies diferentes, para hacer que una célula adquiriera un gen de otra especie.

Con la ingeniería genética es posible transferir genes de células humanas a una bacteria, por ejemplo, que produce a un tiempo su propia proteína y la humana. Con este sistema, se han logrado algunos productos como la insulina artificial, químicamente idéntica a la que produce el cuerpo humano; el interferón, utilizado para combatir el cáncer; la hormona del crecimiento humano, y algunas otras hormonas y vacunas.

Dado que es relativamente fácil y barato cultivar bacterias, las posibilidades de emplearlas como fábricas en miniatura para producir sustancias que antes escaseaban, es enorme. En el caso de las plantas, sin embargo, resulta más difícil realizar la manipulación genética que con las bacterias, debido al tamaño del genoma vegetal, por lo que primero se transforman las bacterias que a su vez transforman el cromosoma vegetal. Por ejemplo, para aumentar la resistencia de las plantas a las plagas de insectos y hongos, se utiliza la bacteria *Bacillus thuringiensis* que produce una sustancia tóxica para muchas especies de orugas. Si se trasplanta el código genético de esta toxina a una planta, ésta producirá su propio insecticida.

Con la ingeniería genética de plantas, el propósito no solamente es el de incrementar sus rendimientos, sino además, insertarles genes de resistencia a plagas, de adaptabilidad a la sequía o a la salinidad, y capacidad para la fijación del nitrógeno.

En el aspecto alimentario, la ingeniería genética de plantas puede

jugar un importante papel si se logra transferir la información deseada de la fuente donadora, a una planta de interés agrícola-económico.<sup>11</sup>

Toda vez que la "manipulación genética" a que hacemos referencia en líneas anteriores es el eje central de la nueva biotecnología, vale la pena describir, aunque sea de manera simplista, el proceso:

Para aislar un determinado gene, se realiza una operación de "corte" de tipo químico. Las "tijeras" genéticas son las llamadas enzimas de restricción o endonucleasas, que efectúan cortes en puntos concretos de la doble hélice del ADN; es decir, aquéllos puntos cuya secuencia química "reconocen", lo cual de antemano implicó seleccionar la enzima apropiada. Una vez aislado el gene, se inserta en el ADN de la célula huésped, sirviéndose nuevamente de las tijeras genéticas. Los filamentos de la doble hélice así cortados, reconocen a sus respectivas parejas químicas que contienen la información genética: timina (T), que la liga con adenina (A), y guanina (G) que liga con citocina (C), y se unen con la ayuda de otro tipo de enzimas, las ligasas, completándose así el ciclo de producción de la molécula de ADN recombinante (Figura 3).

### Ingeniería enzimática

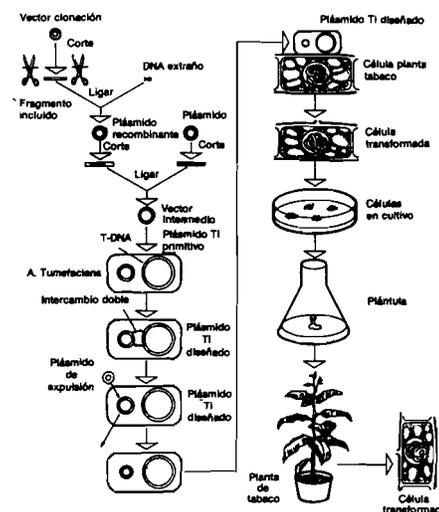
Los avances de la ingeniería genética permiten esperar que, a corto plazo, se puedan producir grandes cantidades de enzimas a bajo costo, con posibles ahorros de energía y la utilización de nuevas materias primas.

Las enzimas son moléculas activas de naturaleza protéica producidas por células vivas. Son el medio mediante el cual se llevan a cabo procesos de transformación necesarios para la actividad celular, facilitando y acelerando las reacciones químicas, puesto que cada enzima tiene un poder catalizador específico.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Agustín López Munguía y Rodolfo Quintero (Comps.). *Tecnología enzimática*, UNAM, 1987, p. 13.

<sup>12</sup> Los catalizadores son sustancias, orgánicas e inorgánicas, que con su sola presencia son capaces de variar la velocidad con que tienen lugar diferentes reacciones, por lo que desde hace muchos años se vienen utilizando en forma generalizada en los procesos industriales.

Aspectos básicos para la inserción de un gene extraño en una célula de planta y la regeneración de la planta con la nueva información.



RUENTE: Chilton M.D. A Vector for introducing new genes into plants. in "Scientific American" Vol. 248 N° 6, 1983, p. 36.

Un experimento típico de DNA recombinante incluye: 1) un vehículo de clonación que se necesita replicar en células viables; 2) una molécula de DNA (extraño o pasajero) que será replicada; 3) una endonucleasa de restricción para cortes específicos del DNA; 4) un método para unir el DNA extraño al vehículo, utilizando la enzima ligasa del DNA; 5) un mecanismo de introducción del DNA construido al organismo huésped en el cual se replicará (transformación o transfección de DNA); 6) un mecanismo de evaluación o selección genética para encontrar las células que han replicado la molécula recombinada deseada (Morrow 1979).

El enorme potencial que tienen las enzimas se debe a algunas de sus características específicas: a) Su velocidad de reacción es de dos a tres órdenes de magnitud mayor que la de los catalizadores inorgánicos; b) las condiciones de reacción, temperatura y presión, relativamente bajas, hace que su uso sea poco costoso; c) su área de aplicación es muy amplia, ya que mediante técnicas genéticas se pueden producir fácilmente en gran cantidad; d) se pueden reutilizar mediante técnicas de inmovilización.<sup>13</sup>

La importancia que las enzimas pueden tener en un futuro próxi-

<sup>13</sup> En su empleo industrial, la extracción de enzimas utilizadas en el proceso resulta costosa. De ahí que se empleen las técnicas de inmovilización para hacerlas circular en continuo por medio de bioreactores industriales.

mo en los procesos industriales se advierte ya al observar las consecuencias de su aplicación en las industrias de azúcar y edulcorantes en Estados Unidos. En los años setenta, la caída de los precios del almidón coincidió con el alza de los precios del azúcar y del petróleo, hecho que estimuló la investigación de una serie de enzimas que aceleran el proceso de transformación del almidón, con lo que se obtiene una especie de azúcar más barata. El hecho es que hoy día los edulcorantes alternativos —jarabes fructosados y el ácido aspártico (aspartame)— han logrado cambiar las condiciones de producción y de mercado de la caña de azúcar, con la consiguiente pérdida de mercados tradicionales de los países productores de azúcar.<sup>14</sup> Como dato informativo, cabe agregar que la CEE ha prohibido el desarrollo de esta tecnología a fin de evitar repercusiones negativas en su propia industria azucarera derivada de la remolacha.

### *Cultivo de tejidos*

Se entiende por cultivo de tejidos<sup>15</sup> al conjunto de técnicas para cultivar, en condiciones controladas, cualquier tipo de células, tejido u órgano vegetal.

Para desarrollar el cultivo de tejidos, puede utilizarse cualquier corte de una planta, dependiendo de las potencialidades o características del vegetal que se desea explotar. Así, tenemos que cualquier parte de una planta (hoja, tallo, meristemo, polen, raíz, botón, etcétera) separada de ésta y desinfectada mediante un tratamiento para eliminar los microorganismos que se encuentran en su superficie, es un "explante" del que se puede iniciar un cultivo.

Según las condiciones físicas (luz, temperatura, cultivo líquido o semisólido, etcétera) y químicas (sales minerales, vitaminas, hormonas, etcétera) el explante puede dar lugar a uno u otro tipo de cultivo: puede "desdiferenciarse" en una masa amorfa de células denominadas *callo*, la cual, de acuerdo a las condiciones, puede continuar

<sup>14</sup> Rosa Luz González y Rodolfo Quintero. "La biotecnología y sus impactos: el caso de los nuevos edulcorantes", en *Revolución tecnológica y empleo*, STPS-PNUD-OIT, México, 1986.

<sup>15</sup> Robert L. Manuel. "El cultivo de tejidos vegetales en México", en Quintero (compilador), *Perspectiva de la Biotecnología en México*, Fundación Barros Sierra-CONACYT, México, 1985.

proliferando, como callo, o desagregarse en células aisladas para dar lugar a tallos y raíces (organogénesis) o embriones (embriogénesis).

Las células aisladas (células en suspensión y protoplastos) pueden dividirse para formar nuevos callos, órganos o embriones y, eventualmente, dar lugar a nuevas plantas completas, idénticas a la planta de la que se formaron los explantes. La propiedad de regenerar nuevos individuos a partir de células es donde radica el potencial del cultivo *in vitro*.

Existen tres métodos principales con los cuales el cultivo de tejidos vegetales contribuye a la producción de nueva variabilidad genética: mutagénesis, plantas haploides y variabilidad clonal.

Mediante cruza amplias, el cultivo *in vitro* supera las barreras reproductoras sexuales, lo que ha sido una limitante dentro del mejoramiento tradicional. Para modificar genéticamente a las células, se puede aislar a las especies por tres procedimientos:

### Fusión de células y protoplastos

Esta técnica permite eliminar la gruesa pared de celulosa que protege a las células vegetales. Los protoplastos, libres de la barrera física que representa la pared celular, pueden ser fusionados por tratamientos químicos o eléctricos para producir líneas celulares híbridas, en las que es posible regenerar, posteriormente, nuevas plantas.

### Transformación genética

Las técnicas de ingeniería genética de microorganismos son aplicables a las células vegetales para introducir genes específicos que pueden provenir de organismos tan distantes como una bacteria.

### Cultivo de embriones

Muchas veces los embriones híbridos no pueden desarrollarse ampliamente en la flor por falta de nutrientes. Estos embriones pueden ser "rescatados" y ayudados a completar su desarrollo en cultivo *in vitro* donde se les suplementan nutrientes, reguladores del crecimiento, etcétera.

Las técnicas del cultivo de tejidos pueden utilizarse, tanto para

mantener la variabilidad, como para obtener plantas nuevas y de esta manera multiplicarlas masivamente una vez obtenidas las características deseadas. Podemos decir que el cultivo de tejidos ofrece posibilidades interesantes para el desarrollo de la horticultura y la industria farmacéutica nacionales, con notorias ventajas: permite acelerar los métodos tradicionales del mejoramiento de plantas; posibilita la obtención de plantas resistentes a plagas, salinidad, sequía y, en general, a ciertas restricciones climáticas.

Se considera que las técnicas del cultivo de tejidos pueden ser de considerable importancia en las siguientes aplicaciones agrícolas:

- a) En la preservación de germoplasma.
- b) En el mejoramiento genético.
- c) En la micropropagación de cultivares.

*a) Preservación de germoplasma*

Preservar la diversidad genética de los cultivos es de capital importancia para mantener y mejorar las variedades vegetales logradas por hibridación (Figura 4).

En la medida que se mantuvo la diversidad de los cultivos, fue posible la coexistencia de múltiples variedades de un solo cultivo bajo el método de trabajo agrícola tradicional, y se mantuvo así el *vigor genético* a lo largo de selecciones cuidadosas que duraron siglos.

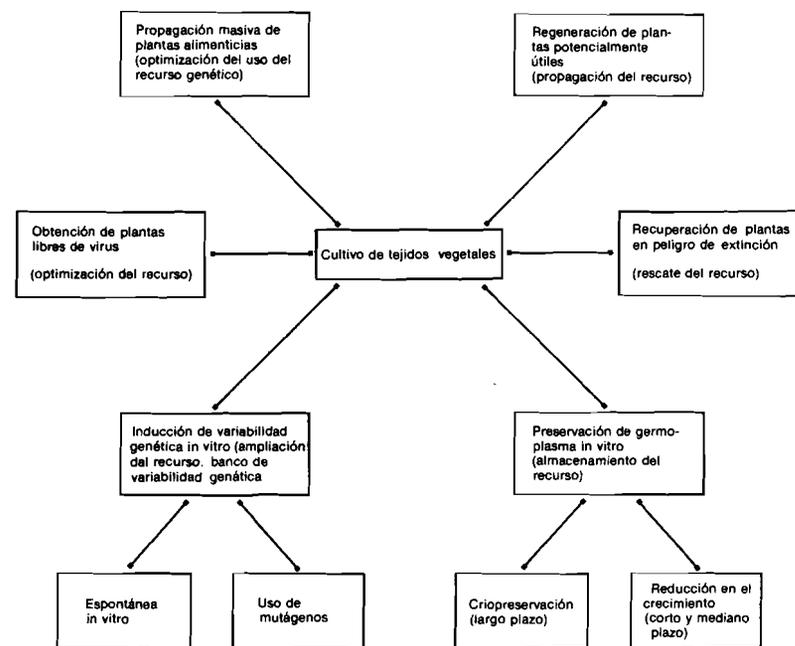
En la década de los años veinte, el botánico ruso N.I. Vavilov, creó la teoría del origen de la variedad de las plantas, que afirma la existencia de centros geográficos de diversificación, es decir, regiones en las que coexisten múltiples variedades. Esas regiones están ubicadas casi todas en lo que hoy se llama Tercer Mundo —México incluido—, de donde proceden las variedades básicas para producir las hibridaciones logradas en los países desarrollados y que hoy aportan las semillas de mayor comercio en el mundo (Véase mapa).

Ahora bien, como cada hibridación requiere de material genético original, pues el híbrido es estéril, la búsqueda y acopio de las variedades tradicionales y silvestres en el Tercer Mundo se ha convertido en una tarea metódica por parte de los países desarrollados, con la consiguiente desaparición de muchas variedades vernáculas de sus patrias genéticas.

Estas colecciones provenientes del Tercer Mundo tienen como destino los bancos de germoplasma donde se conservan colecciones

Figura 4

Potencialidad del cultivo de tejidos vegetales en el uso, rescate y preservación de los recursos genéticos

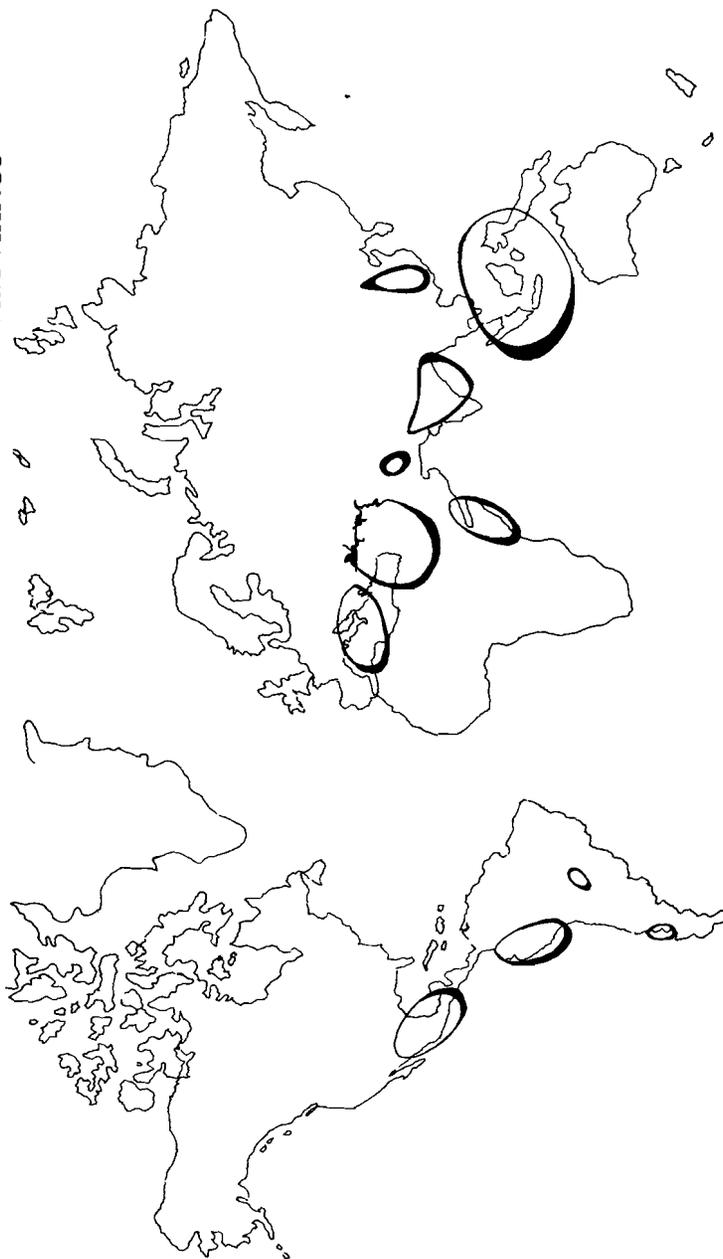


FUENTE: Abraham Rubiúo Islas. "Estrategias para la preservación del germoplasma in vitro, en: Robert y Loyola, *El cultivo de tejidos vegetales en México* CONACYT, México, 1985.

*in vitro*, lo que reduce el costo de mantenimiento de las especies, permite la constante reproducción para mantener los niveles de germinación y evitar riesgos de pérdidas por ataques de plagas. Por otra parte, atenúa los problemas de cambios climáticos y del suelo.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Estos bancos están bajo el control parcial del Consejo Internacional de Recursos Genéticos Vegetales, a su vez bajo el control parcial de la FAO bajo el programa de la ONU para el medio ambiente; el Laboratorio Nacional de Almacenaje de Semillas en Boulder, Colorado; la empresa United Brands (antes United Fruit) con más o menos 2/3 del germoplasma de plátano en el mundo; la empresa Campbell's Soup, y otros 60 bancos que son propiedad pública. Véase Mooney, P.R. *Semillas de la tierra*, Inter Press, Consejo Canadiense de Cooperación Internacional, Ottawa-Londres.

LOCALIZACION DE LOS CENTROS DE VARIIDADES "VAVILOVIANOS"



FUENTE: *Genetic conservation. Programa de capacitación para la conservación genética*, FAO, División de Ecología de Cultivos y Recursos Genéticos. FAO, PI/F/460. Tomado de P.R. Moone, *Op. Cit.*, Pág. 4.

Lo que resulta claro es que las empresas trasnacionales obtienen de manera gratuita en los países subdesarrollados los recursos genéticos que, según su criterio, deben considerarse como patrimonio universal de la humanidad, y después de manipularlos, los venden como propiedad privada.

En este orden de cosas, el establecimiento y operación de los bancos de germoplasma, con carácter gubernamental y académico, apoyado por la ingeniería genética y las técnicas del cultivo del tejido puede colaborar en la tarea de preservar los recursos vegetales.

México tiene dos bancos de germoplasma: uno de cereales (CIMMYT) y otro de leguminosas (INIA); pero en cambio carece de un banco de germoplasma que acopie y mantenga el potencial genético de nuestras regiones tropicales, seriamente amenazado por la deforestación.

b) *Mejoramiento genético*

Aunque las técnicas de la ingeniería genética no son aplicables a corto plazo, sus efectos en cambio están catalogados como aquéllos que pueden cambiar drásticamente los métodos de producción incidiendo en los siguientes renglones:

- a) Mejoramiento de las especies animales y vegetales existentes, desde el punto de vista de su rendimiento cualitativo y cuantitativo, resistencia a enfermedades y a plagas, etcétera.
- b) Creación de nuevos híbridos cuando éstos no se puedan lograr por hibridación sexual.
- c) Cultivos *in vitro* de tejidos vegetales para hacerlos resistentes a metales pesados.
- d) Para la erradicación de enfermedades virales y para un crecimiento vegetativo más rápido.
- e) Fijación del nitrógeno de las plantas con el propósito de reducir el consumo de abonos nitrogenados. La otra posibilidad es la de crear plantas que generen su propio biofertilizante.

En síntesis, podemos afirmar que estamos asistiendo al nacimiento de vegetales de nuevo tipo —que se estima estarán en el mercado en la década de los noventa—, diseñados y programados con funciones y propiedades específicas, es decir, "vegetales máquina" que habrán de

contener soluciones adecuadas a extensas zonas del mundo donde las condiciones de suelo y clima hasta ahora no habían sido consideradas como favorables para una actividad agrícola de alto rendimiento físico.

De esta manera, el "vegetal máquina" expresa el denominador común de las diversas acciones de la biotecnología, que es la selección y alteración de ciertos organismos para que hagan exactamente lo que queremos que hagan.

c) *Micropropagación de cultivares*

Una técnica importante en el cultivo de tejidos es la micropropagación, que consiste en la multiplicación asexual *in vitro* a partir de un explante (meristemo, callo, botones, células en suspensión, polen, etcétera). La forma más fácil de micropropagación es la producción de tallos directamente del explante, ya sean secciones de tallo, hojas o meristemo, o de manera indirecta a partir de callos. Los tallos son enraizados y cuando las plántulas alcanzan un tamaño adecuado, son transferidas a la tierra bajo condiciones de humedad y temperatura adecuadas para lograr su adaptación. Mediante esta técnica se pueden obtener resultados a un plazo más corto. Asimismo, esta técnica puede resultar de gran importancia en el repoblamiento con árboles, por ejemplo: coníferas en grandes extensiones erosionadas.

Impacto biotecnológico en el sector agrícola<sup>17</sup>

Los efectos de la modernización agrícola necesariamente tienen que referirse a dos momentos importantes, conocidos como primera y segunda fase de la modernización, es decir, Revolución Verde y Biotecnología. Se considera que aquella modificó rendimientos de los cultivos y costos de producción, en tanto que la "nueva" biotecnología habrá de afectar todos los factores de producción (Véase Cuadro 1).

Por otra parte, se prevé una radical transformación de la agricultura que someterá a nuevas tensiones a las relaciones económicas y sociales. No puede pasar inadvertido que cualquier modificación en los rendimientos físicos de un cultivo en particular, enfrentada a una

<sup>17</sup> Los datos y prospecciones contenidas en este apartado fueron tomados de Quintero Rodolfo: "Agricultura y el cambio tecnológico: desarrollo y dependencia", en Sexto Seminario de Economía Agrícola, IIE C-UNAM, México, 1986.

CUADRO 1

IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGIA EN EL SECTOR AGRICOLA

<i>Concepto</i>	<i>Impacto Potencial</i>
Superficie cultivada	Expansión de la frontera agrícola utilizando tierras hasta ahora no aptas para cultivo con la selección de plantas resistentes a sequía, suelos salinos, suelos ácidos y alcalinos.
Rendimiento	Aumento en la productividad agrícola con variedades selectas de mayor eficiencia biológica y de altos rendimientos e introducción de nuevas técnicas de cultivo que permitan incrementar las cosechas anuales.
Precio	Se obtendrán productos agrícolas con propiedades y características específicas que permitirán un aumento de los precios. Además se generará un espectro mayor de calidad por producto y de precios.
Costo de producción	Los insumos agrícolas se modificarán de forma sustancial siendo sustituidos por nuevos productos. Se estima que la dependencia de semillas mejoradas aumentará; que el consumo de fertilizantes derivados de petroquímicos tenderá a disminuir siendo reemplazado por biofertilizantes (fijación biológica de nitrógeno), los plaguicidas (insecticidas, herbicidas y fungicidas) de origen petroquímico serán sustituidos en un alto porcentaje por productos biológicos y se obtendrán plantas que los autoproduzcan. Aparecerán nuevos agroquímicos de origen químico y biológico (promotores del crecimiento).
Nuevos cultivos	Se estima que serán introducidos a exportación comercial alrededor de veinte nuevos cultivares, en los próximos quince años.
Desplazamiento de cultivos	Las nuevas técnicas de producción biológica permitirán que algunos productos agrícolas sean desplazados por "sustitutos naturales" como ha sucedido en el caso del azúcar de caña. Se considera que el café, cacao y aceite de palma son potencialmente reemplazables.
Bioindustria agrícola	Se generará un nuevo tipo de industria basado en la explotación de la producción de sustancias de origen vegetal <i>in vitro</i> . Los productos farmacéuticos, colorantes, saborizantes, serán los primeros en llegar al mercado.

FUENTE: Rodolfo Quintero Ramírez. "Agricultura y cambio tecnológico: desarrollo y dependencia", ponencia presentada en el Sexto Seminario sobre Economía Agrícola del Tercer Mundo, Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, 1986.

demanda rígida a corto plazo, tendrá como efecto el desplazamiento de un buen número de competidores menos avanzados y, por tanto, de mano de obra, por lo menos hasta que los recursos así desplazados encuentren nuevos usos redituables. Y no es posible asegurar que el lapso, dentro de una región, sea de una dimensión tolerable. Por el momento, podemos suponer que las modificaciones biotecnológicas no podrán ser, de manera forzosa, simultáneas y que, por el contrario, reforzará la tendencia al monocultivo.

Quizá por eso, será prudente contar con una previsión de los desarrollos más cercanos en el tiempo para, a partir de ello, tomar las medidas pertinentes de manera de proteger el empleo, la diversificación y la redistribución de la propiedad rural.

A modo de comentario del Cuadro 1, se estima que los rendimientos agrícolas, aunque pueden ser variables dependiendo del producto y la técnica utilizada, son susceptibles de incrementarse hasta en un 100 por ciento.

Dado que se pueden incorporar características de mejoramiento a ciertos cultivos, el aumento de su demanda habrá de reflejarse en un incremento del precio unitario, tal como ya ha sucedido con algunos vegetales, verbigracia: un tomate con mayor contenido de sólidos, apio con menos fibra, cebolla con sabor y aroma atenuado, etcétera. Se prevé que una gama de nuevas variedades se tendrán en los últimos diez años del siglo XX, ya que la nueva tecnología permite acortar los tiempos de obtención de variedades mejoradas.

En cuanto costos de producción, se prevé que éstos aumentarán y que es inminente el desplazamiento de los insumos petroquímicos por nuevos productos: *biofertilizantes* y plaguicidas así como por vegetales productores de sus propios biocidas.

La incorporación al mercado de lo que habrán de ser "nuevos cultivos" con la aplicación de algunas técnicas emergentes puede ser el amaranto, el guayule y la jojoba.

El desplazamiento de cultivos agrícolas que han sido materiales tradicionales de exportación se habrá de producir por la "fabricación" de sustitutos. Tal ha sido el caso de la sustitución de caña de azúcar por jarabes fructosados derivados del maíz y aspartamo, ambos productos biotecnológicos. Otros productos cuya sustitución está siendo considerada son el café, el cacao y el aceite de palma.

El desarrollo de una bioindustria agrícola producida por manipulación genética *in vitro* producirá compuestos de alto valor agregado para mercados específicos.

Aunque sea en forma breve, merece comentarse el impacto probable de la nueva biotecnología agrícola de nuestro país:

- a) Ante la creciente demanda de alimentos que habrá de requerir el crecimiento poblacional, se necesitarán tecnologías diferentes a las actuales, siendo la biotecnología una opción.
- b) Los productos de exportación, so pena de perder mercados, deberán contener una diferenciación, posiblemente en calidad, o en calidad y otras características.
- c) Se dará un desplazamiento de mano de obra a causa de la sustitución por nuevos productos y por incrementos en la productividad.
- d) El "diseño" de variedades de plantas resistentes a la sequía puede virtualmente hacer crecer la frontera agrícola hacia suelos hasta ahora no aptos para el cultivo.

Ante las opciones antes insospechadas que promete hoy la biotecnología en el área agroindustrial que nos interesa en particular, es de capital importancia definir con sentido realista las prioridades y considerar las limitaciones, dentro de los lineamientos de una estrategia agroalimentaria.

Sobre la base de impulsar proyectos que respalden las necesidades más urgentes de la sociedad es como se podrán retroalimentar los proyectos biotecnológicos que habremos de emprender.

De no aceptar el reto biotecnológico, el país y aún la región en consecuencia experimentarán retrocesos en la producción agrícola y alimentaria, al depender más del exterior.

Ahora bien, la voluntad política para enfrentar la situación es decisiva. Los efectos positivos o negativos dependerán de las acciones que en conjunto asuma el estado, el aparato científico-técnico y los productores de la agroindustria.

Tendencias actuales de la investigación biotecnológica en México.

Los cuadros 2, 3 y 4, referidos a la biotecnología agrícola, industrial

alimentaria y producción pecuaria respectivamente, destacan diversas líneas de investigación que se siguen en el país. Aún sin tratarse de un censo propiamente, los cuadros de referencia permiten una panorámica que indica ciertas tendencias generales.

*Biotecnología agrícola*

El rubro incluye tres líneas principales: *cultivo de tejidos, ingeniería genética y tecnología de fermentaciones.*

Se observa que la principal línea de investigación está orientada, en lo fundamental, al cultivo de tejidos, en particular a la micropropagación de frutas, hortalizas, flores ornamentales, y otros cultivos de interés comercial como cítricos, agave y café.

Cabe hacer notar, sin embargo, la falta de investigaciones en gramíneas y leguminosas debido a que la micropropagación no es viable para estos cultivos.

*Ingeniería genética*

Por lo que hace a los proyectos de ingeniería genética de plantas, pocas instituciones atienden este rubro como el Centro de Investigación de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, el Centro de Investigación sobre fijación del nitrógeno de la UNAM y el Centro de Investigación en ingeniería genética de la UNAM.

Los estudios sobre las técnicas de fijación de nitrógeno constituyen avances importantes con la participación conjunta de la Universidad Autónoma de Chapingo y CINVESTAV.

Sin embargo, las investigaciones que parecen tener un mayor avance relativo son las de CINVESTAV-Irapuato, que desarrolla trabajos con fusión de protoplastos y ADN recombinante, notoriamente el que lleva a cabo con varias especies de frijól con el fin de que produzca su propio insecticida.

*Tecnología de fermentaciones*

Hemos considerado esta biotecnología dentro del sector agrícola no sólo porque tal sector constituye el origen de los insumos respectivos, sino que en algunos casos representa también el destino de los

CUADRO 2

RELACION DE INSTITUCIONES QUE DESARROLLAN PROYECTOS DE BIOTECNOLOGIA RELACIONADOS CON LA PRODUCCION AGROINDUSTRIAL ALIMENTARIA EN MEXICO

Area de aplicación Líneas de investigación	Instituciones
<i>Biotecnología agrícola:</i>	
<i>CULTIVO DE TEJIDOS:</i>	
Cultivo de tejidos de maíz y hortalizas	Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (*)
Propagación vegetativa de frutales	Universidad Autónoma de Chapingo Biogenética Mexicana
Propagación vegetativa de flores ornamentales	
Cultivo de tejidos para: inducción de resistencia a patógenos de plantas, extracción de metabolitos secundarios en plantas, producción de leguminosas y selección de híbridos mejorados en vegetales	Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN, Unidad Irapuato
Cultivo de tejidos	Centro de Investigación Científica de Yucatán
Producción de metabolitos secundarios mediante cultivo de tejidos en plantas	
Micropropagación de flores ornamentales	Mexicana de propagación
Producción de inóculos	Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos, núm. 6, IPN
Producción de inóculos para uso agronómico	Universidad Nacional Autónoma de México
Producción de inóculos de rhizobium	Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias (SARH), Centro Experimental Pecuario "La Posta" Tequila Cuervo
Cultivo de tejidos de agave	Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Zacatepec, Morelos
Cultivo de tejidos en cítricos, yuca y papa	
Cultivo de tejidos en árboles frutales y flores ornamentales	Departamento de Floricultura, CONAFRUIT
Cultivo de tejidos	Programa Nacional de la papa, Toluca, Estado de México

Cultivo de tejidos	Instituto Mexicano del Café
Cultivo de tejidos	Centro Internacional para el mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), Texcoco
Cultivo de tejidos en flores ornamentales, frutas, agave y nopal	Centro de Micropropagación, Oaxaca
Cultivo de tejidos en cítricos	Centro Agrícola Experimental "General Terán", INIFAP, Nuevo Leon
Cultivo de tejidos en frutas	
Cultivo de tejidos en vid y otras frutas	Centro Agrícola Experimental Pabellón, Aguascalientes
Cultivo de tejidos de vid	Centro Agrícola Experimental "La Laguna", Coahuila
Cultivo de tejidos de agave y café	Universidad Autónoma de Chapingo
<b>TECNOLOGIA DE FERMENTACIONES:</b>	
Humificación de desechos de caña	Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN, D.F.
Aprovechamiento de desechos primarios	
Biosíntesis de fertilizantes agrominerales	Universidad Autónoma de Chapingo
Abonos agrícolas	Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN-D.F.
<b>INGENIERIA GENETICA:</b>	
Selección in vitro de genotipos de maíz	Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Instituto Mexicano del Maíz
Síntesis de proteínas de trigo	Centro de Investigación sobre fijación de Nitrógeno, UNAM
Construcción de bancos de genes de bacterias fijadoras de nitrógeno	
Asimilación de nitrógeno en hongos	
Mejoramiento genético de maíz	Universidad Autónoma de Tamaulipas (**)
Germinación en maíz	Universidad Autónoma de Chapingo (***)

Aislamiento de genes de microorganismos	Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN, Unidad Irapuato
Transferencia de genes a través del polen de maíz	
Fusión celular de células vegetales	
Irradiación en frutales de papaya	
Obtención de plantas haploides	
Bioquímica y genética del parasitismo en vegetales	
Metabolismo de etileno en plantas.	

- FUENTES: SEP-COSNET. *La investigación en biotecnología y bioingeniería*, México, 1984.  
 SEP-COSNET. *Potencial para el desarrollo de la Ingeniería Genética*, México, 1984.  
 UNAM. Coordinación de la Investigación Científica, *Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología*. México, 1986.  
 Investigación directa con los siguientes Centros de Investigación: CICY (Yucatán), CINVESTAV (Irapuato y D.F.), CIMMYT, UACH, CHDIR (Durango), Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, UNAM.
- \* Proyectos a nivel Tesis de Licenciatura, no verificada su continuidad.
  - \*\* Proyecto del cual se desconoce su continuidad y fase actual.
  - \*\*\* No se incluyen aquí proyectos aplicados a la silvicultura debido a que se ubican en la agroindustria no alimentaria y, aunque esta no contribuye como insumo alimentario, es relevante dentro del sector agrícola por lo cual se incluye un comentario posterior.

CUADRO 3  
RELACION DE LAS  
INSTITUCIONES QUE DESARROLLAN PROYECTOS DE BIOTECNOLOGIA  
RELACIONADOS CON LA PRODUCCION AGROINDUSTRIAL  
ALIMENTARIA EN MEXICO

<i>Area de aplicación</i>	<i>Instituciones</i>
<i>Líneas de investigación</i>	
<i>Industria Alimentaria</i>	
<b>TECNOLOGIA DE FERMENTACIONES:</b>	
Producción de proteína unicelular	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN (*)
Producción de ácidos orgánicos y biomasa	Universidad Autónoma de Aguascalientes (*)
Bioconversiones y conversiones enzimáticas	Instituto Tecnológico de Tijuana, Baja California Norte
Producción de vitaminas y biomasa	Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, UACH (*)
Obtención de alcohol y biomasa	Universidad Autónoma de Chiapas
Biosíntesis de biomasa	Centro de Investigaciones en Química aplicada, Coahuila (*)
Síntesis de biomasa	Universidad Autónoma de Coahuila (*)
Producción de enzimas, aminoácidos, lípidos y biomasa	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN (*)
Aprovechamiento de subproductos agrícolas e industriales	Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco
Piensos no convencionales	Universidad Nacional Autónoma de México
Fermentaciones (gomos dextronas)	Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología, UNAM
Tecnología de fermentaciones	
Biosíntesis de biomasa	Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial
Producción de lípidos	Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN D.F.
Aislamiento y caracterización de aglutinas vegetales	Centro de Investigaciones Biológicas, Baja California Sur
Producción de biomasa a partir de metanol	Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN, D.F.

Producción de biomasa a partir de maleza	
Escalamiento de tecnología de fermentaciones	
Producción de levaduras a partir de metanol	
Utilización de productos lignocelulósicos	
Biodegradación de ligninina	
Biosíntesis de aminoácidos	Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de Durango (*)
Biosíntesis de vitaminas	
Biosíntesis de lípidos	
Tecnología de fermentaciones	CIIDIR, IPN, Durango
Utilización de subproductos agrícolas	
Biosíntesis de aminoácidos	Universidad Autónoma del Estado de México (*)
Biosíntesis de biomasa	
Producción de etanol	Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (*)
Producción de alimentos no convencionales (algas)	Sosa Texcoco, (SARH)
Producción de ácidos orgánicos	Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato (*)
Producción industrial de biomasa	
Biosíntesis de biomasa	
Producción de pigmentos	Instituto de Investigación Científica, U. de Guanajuato
Producción de concentrados proteícos	
Producción de proteína unicelular	Instituto Tecnológico de Acapulco, Guerrero
Tecnología de fermentaciones	Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios núm. 38. Jalisco
Producción de biomasa, enzimas y etanol	Universidad Autónoma de Nuevo León (*)
Producción de biomasa	Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla
Producción de biomasa y proteína unicelular	Universidad Autónoma de Puebla (*)
Producción de aminoácidos y biomasa	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Unidad Querétaro (*)
Producción microbiológica de vinagre	Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa (*)

Producción de biomasa	Universidad Autónoma de Sinaloa (*)
Biosíntesis de biomasa	Instituto Tecnológico de Sonora
Producción de biomasa	Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de Orizaba. (*)
Fermentaciones de pulpa de henequén y miel de abeja	Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de Mérida, Yucatán (*)
Hidrólisis fermentativa de henequén	CORDEMEX, S.A., Yucatán
Crecimiento de la flora láctea para uso en control de calidad	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Control de calidad	Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Obtención de giberelinas	Centro Regional de Enseñanza Técnica Industrial, Jalisco (*)
Utilización de subproductos	
<b>TECNOLOGIA ENZIMATICA:</b>	
Producción de aditivos saborizantes	Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco
Tecnología enzimática	Universidad Nacional Autónoma de México
Tecnología enzimática	Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología, UNAM.
Bioconversiones enzimáticas	Centro de Investigación en Ingeniería Agrícola y Alimentaria. Universidad de Guanajuato
Producción de enzimas	Instituto de Investigación en Biología Experimental, Universidad de Guanajuato
Tecnología enzimática	Universidad de Guadalajara (*)
Tecnología enzimática	Universidad Autónoma de San Luis Potosí

FUENTES: SEP-COSNET. *La investigación en biotecnología y bioingeniería*, México, 1984.  
 SEP-COSNET. *Potencial para el desarrollo de la Ingeniería Genética*, México, 1984.  
 UNAM. Coordinación de la Investigación Científica, Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología. México, 1986.  
 Investigación directa con los siguientes Centros de Investigación: CICY (Yucatán), CINVESTAV (Irapuato y D.F.), CIMMYT, UACH, CHDIR (Durango), Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, UNAM.

CUADRO 4

RELACION DE INSTITUCIONES QUE DESARROLLAN PROYECTOS DE BIOTECNOLOGIA RELACIONADOS CON LA PRODUCCION AGROALIMENTARIA EN MEXICO

<i>Area de aplicación</i>	<i>Instituciones</i>
<i>Líneas de investigación</i>	
<i>Producción Pecuaria</i>	
<b>TECNOLOGIA DE FERMENTACIONES:</b>	
Fermentaciones anaerobias	Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM
Producción de biomasa para la alimentación animal	Centro de Investigación Científica y Tecnológica, U. de Sonora
Fermentaciones para la alimentación animal	CIIDIR, IPN, Durango
Desechos animales enriquecidos en ácidos orgánicos	Instituto Mexicano de Tecnologías Apropriadas
<b>INGENIERIA GENETICA:</b>	
Producción de hormona de crecimiento bovino y transferencia de embriones	Universidad Autónoma de Nuevo León
Selección genética de ganado bovino (microvacas)	Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, UNAM, SARH, Querétaro
Transferencia de embriones en diversas especies pecuarias	LICONSA - Conasupo, Tepotzotlán Estado de México

FUENTES: SEP-COSNET. *La investigación en biotecnología y bioingeniería*. México, 1984.  
 SEP-COSNET. *Potencial para el desarrollo de la Ingeniería Genética*, México, 1984.  
 UNAM. Coordinación de la Investigación Científica, Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología. México, 1986.  
 Investigación directa con los siguientes Centros de Investigación: CICY (Yucatán), CINVESTAV (Irapuato y D.F.), CIMMYT, UACH, CHDIR (Durango), Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, UNAM.  
 UNAM, *Los Universitarios*, Vol. II, Núm. 18, julio de 1987.

misimos, si bien el proceso en cuestión se ubica en el sector industrial. Así por ejemplo; el aprovechamiento de los desechos agrícolas procesados mediante tecnología de fermentación retornan a la agricultura en forma de abonos. Es decir, la división establecida respecto a las áreas de aplicación de la biotecnología agroindustrial alimentaria es un recurso metodológico; pero en realidad existe una interrelación a medida que la producción agrícola se ha vinculado cada vez más a la industria bajo la forma agroindustrial. En esta línea destacan los trabajos de CINVESTAV-DF y Universidad Autónoma de Chapingo (UACH).

### Biotecnología en la industria alimentaria

#### *Tecnología enzimática y de fermentaciones*

Es indudable el gran interés que ha suscitado la biotecnología para la producción industrial de alimentos. No sólo en el aspecto cuantitativo —59 proyectos en nuestra relación—, sino en el aspecto de los avances registrados en este tipo de aplicaciones. En esta área los desarrollos biotecnológicos se encaminan básicamente a los siguientes procesos:

- a) Producción de proteína unicelular para consumo pecuario, así como para consumo humano directo.
- b) Utilización de subproductos agrícolas para la obtención de productos alimentarios y no alimentarios.
- c) Producción de aminoácidos, vitaminas, grasas, pigmentos, y concentrados protéicos.

En esta área de investigación participan numerosos centros de investigación: universidades, institutos tecnológicos y, en menor medida, centros de investigación estatales (Sosa Texcoco, SARH) y Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (LANFI).

Es válido señalar que la importancia que adquiere la biotecnología en esta industria está determinada no solamente por la obtención de nuevos productos como la proteína unicelular y los piensos no convencionales en caso de poder abatir su costo, sino también por la sustitución de algunos productos de origen natural por productos sintéticos como pigmentos, colorantes, vitaminas, aminoácidos y

grasas. Por supuesto, el interés esencial que riges este tipo de inversiones lo constituye la obtención de productos elaborados en el país a bajo precio. Así, por ejemplo, los productos sintéticos arriba señalados, se importan y representan un incremento en costos para la industria alimentaria.

Los avances logrados a partir de la tecnología enzimática se inscriben en el contexto antes señalado. Sin embargo, consideramos necesario puntualizar la importancia económica que representa esta tecnología desarrollada en la última década. Un aspecto que ha impulsado la producción de enzimas es la variedad de aplicaciones que pueden efectuarse tanto en la industria alimentaria como en otras (química, farmacéutica, etcétera).

#### *Biotecnología del sector pecuario*

Las aplicaciones de la tecnología enzimática y de fermentaciones, así como la ingeniería genética, contribuyen a la investigación en este campo. Orientadas en lo básico al incremento de la productividad pecuaria, los principales desarrollos consisten en: la producción de alimentos no convencionales para ganado a partir de la utilización de subproductos agrícolas y en la producción de sustancias que aceleran el crecimiento.

Si bien la importancia numérica es escasa —solamente 7 proyectos recabados en nuestra relación—, el potencial que implican estas investigaciones es de gran magnitud.

Las principales contribuciones biotecnológicas en este sector se listan a continuación.

##### *1. Producción de microbovinos*

Es un proyecto de selección genética desarrollado por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. No se ha difundido el grado de desarrollo de este proyecto. Sus ventajas son las siguientes:

- a) Se obtienen bovinos de la tercera parte del tamaño y peso de una especie normal.
- b) El tiempo de crecimiento y desarrollo del animal se reduce de tres años a nueve meses.

- c) En la superficie que ocupa un bovino normal que pesa de 600 a 700 kilogramos caben diez minivacas que pesan 150 kilogramos.

Se piensa que este desarrollo representa una alternativa a la producción de carne y leche, así como a la limitación de superficie para la producción agrícola cuyo agotamiento se debe, entre otros factores, a la implantación de métodos extensivos de producción ganadera.

## 2. Trasplante de embriones

Los óvulos de vacas de selección genética superior se inseminan en forma artificial. Luego se extraen y se implantan en vacas "portadoras". De esta manera, una vaca de "selección" puede generar tantas crías como sea posible sin dar a luz ninguna. Las ventajas que aporta esta biotécnica: reducción en los tiempos de crianza y mejoramiento del hato ganadero en un tiempo reducido.

Como puede verse en nuestro inventario, los proyectos que existen al respecto son pocos; los resultados aún no se difunden, y al parecer se encuentran en una fase muy inicial.

## 3. Alimentos no convencionales para el ganado

Sus avances se ubican en la tecnología de fermentaciones, utilizando residuos orgánicos de origen agrícola: pajas, rastrojos, etcétera, y pecuario, estiércol.

### a) Proceso BIOFERMEL

Producto de la fermentación a base de melaza, urea, rastrojo de maíz, estiércol de bovino y agua. Está orientado a la engorda intensiva de ganado bovino, reduciendo el empleo de alimentos balanceados a base de sorgo, soya o maíz.

Este proyecto se originó en el Departamento de Biotecnología del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, y desde 1985 se produce en forma comercial.

### b) Proceso DESA

Este proceso de "Desechos animales enriquecidos en ácidos orgánicos". Es un desarrollo del Instituto Mexicano de Tecno-

logías Apropriadadas. Emplea estiércol como ingrediente principal y almidón en menor proporción, lográndose un alimento de bajo costo. La ventaja: los insumos son de fácil acceso y el producto se puede difundir por canales no estrictamente comerciales.

- c) Otros alimentos no convencionales a partir de residuos orgánicos. A partir de 1979, el CIIDIR-IPA, Durango, ha venido desarrollando alimentos alternativos para ganado bovino utilizando residuos orgánicos: melaza, rastrojo, urea, nopal, harinolina, sal y granos forrajeros en mínima proporción. El objetivo es optimizar los subproductos agrícolas de la región, a fin de sustituir parcial o totalmente, los cultivos forrajeros. Para 1984, la investigación se encontraba en fase de planta piloto.

## 4. Producción de Alimentos no convencionales a base de proteína unicelular (PUC)

Es un producto de la fermentación que puede producir una biomasa cuyo contenido oscila entre 40 y 70 por ciento de proteína. Existen dos formulaciones: una para ganado y la otra para consumo humano. El problema actual con la PUC es que aún no es rentable. Sin embargo, se piensa que diversificándola, se podría resolver este cuello de botella. Las ventajas que ofrece son las siguientes:

- La producción proteica no se ve limitada por la disponibilidad de superficies cultivables.
- Su productividad se eleva en tanto que los tiempos de reproducción de la biomasa son cortos.
- No depende de condiciones agrícolas o climáticas, ya que su producción se efectúa en grandes fermentadores.

## Rasgos de la política nacional en biotecnología

Es digno de mencionar que el número de instituciones que trabajan el área biotecnológica se ha visto incrementada a partir de 1984, tanto en el área básica como aplicada, particularmente en el área de biotecnología agrícola.

Sin embargo, la escasa o nula vinculación de las instituciones con el sector productivo, no da cabida para la industrialización y posterior comercialización de los resultados.

Por otra parte, tampoco existió iniciativa por parte de las empresas privadas para invertir en investigación y desarrollo, movidos quizá por la desconfianza que infunde la situación económica actual.

Un rápido recuento de los proyectos de investigación, nos revela que en algunas áreas proliferan los proyectos, en tanto que en otras escasean. Se observa duplicación de esfuerzos y una ausencia de colaboración entre grupos, que hacen notoria la ausencia de mecanismos de coordinación, seguramente porque nuestro país carece de un Programa Nacional de Biotecnología que establezca prioridades para las diferentes áreas y sectores de la investigación. Lo que a la fecha existe, son disposiciones emanadas de algunas instituciones nacionales para apoyar o promover determinadas áreas de investigación, de acuerdo a su particular campo de interés.<sup>18</sup>

Hasta el momento, la investigación biotecnológica que se desarrolla en el país ha estado financiada por fondos públicos y es de esperarse, dada la situación financiera, que ésta habrá de disminuir o bien tenderá a sufrir un proceso de privatización.

En opinión de algunos investigadores, las perspectivas de desarrollo biotecnológico en general son poco alentadoras por: 1) la falta de inversión; 2) la gran diversificación de proyectos de investigación; 3) la desconfianza mutua entre industria e instituciones de investigación, y 4) la escasez de personal calificado.<sup>19</sup>

Creemos de crucial importancia adoptar un Plan Nacional de Desarrollo Biotecnológico con orientaciones prioritarias. De no tenerlo, cualquier nuevo producto puede significar una tragedia económica y social, traducida en términos de pérdidas de puestos de

<sup>18</sup> Las instituciones que apoyan algunos proyectos son: *Secretaría de Educación Pública*, por medio de COSNET (1982); *Secretaría de Salubridad y Asistencia* que canaliza algunos recursos tanto al Centro de Investigación en Ingeniería Genética y Biotecnología, como al Centro de Fijación del Nitrógeno, ambos de la UNAM. *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)* que a través de la Dirección General de Transferencia de Tecnología dirige el Programa México, una de cuyas áreas prioritarias es la Biotecnología. *Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP)*, que ha dado apoyo al desarrollo biotecnológico con el programa de reconversión industrial. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que estableció el Programa Nacional de Desarrollo Biotecnológico (PRONDETYC) que establece lineamientos para el desarrollo biotecnológico de acuerdo a prioridades nacionales. Sin embargo, se considera que aún está lejos de coordinar programas institucionales de investigación, o bien de canalizar los resultados obtenidos hacia su aplicación industrial.

Véase al respecto Rosalba Casas, "Potencial de la investigación biotecnológica agrícola en México", en *Revista Mexicana de Sociología*, Año L, Núm. 1, ene-mar 1988, IIS-UNAM, pp. 137y 138.

<sup>19</sup> Enrique Galindo Fentanez. *Ibid.*, p. 39.

empleo, oportunidades para el uso redituable del capital, disminución del ingreso y divisas y, finalmente, reforzamiento de las pesadas cargas de la dependencia tecnológica frente al exterior si, después de todo, tuviera que acudir al uso de la ingeniería genética controlada por países desarrollados.

Un reto quedaría en pie aún suponiendo que el aparato político decida apoyar plenamente el desarrollo autónomo de la biotecnología en los países del Tercer Mundo y que consiste en la capacidad, de antemano, de adaptar los proyectos y procedimientos biotecnológicos al nivel cultural y el tipo de cultura prevaleciente entre los grupos mayoritarios del campo, porque el gran problema no es tanto producir artículos como producir un nuevo tipo de agricultor que pueda participar en la labor de innovación tecnológica en estrecho contacto con el laboratorio, a manera de que debilite su relación de dependencia tecnológica y refuerce su relativa autonomía.

Aunque estamos seguros, por ahora no pueden ser contestadas muchas preguntas. Sabemos de antemano, que los países del Tercer Mundo no pueden darse el lujo de renunciar al nuevo aporte de la biotecnología, y de hecho, a su *propia biotecnología*. Además, debemos resolver, ya desde ahora, el desarrollo de una biotecnología propia adaptada a los intereses de las amplias masas del campo.

### Impactos y repercusiones de la aplicación de la biotecnología

La aplicación de la biotecnología en la agricultura y la fabricación de alimentos, sin duda ha comenzado a repercutir en el desarrollo económico y social a nivel mundial. Sus beneficios y consecuencias adversas para los países del Tercer Mundo, provocados por el surgimiento de estas nuevas tecnologías deben ser considerados a la luz de las repercusiones inmediatas y de las estrategias tecnológicas que cada país pueda presentar para hacerles frente.

Hasta la fecha, la mayoría de los países del Tercer Mundo siguen siendo exportadores de materias primas agrícolas y minerales. Sin embargo tomadas en su conjunto las exportaciones en un lapso de 20 años: 1965-1985, muestran una tendencia decreciente en volumen y precio.

Hoy en día, debido a los cambios tecnológicos, esta tendencia se habrá de acentuar e incluso provocar la quiebra de mercados internacionales de algunos productos. Esto afectará, sin lugar a

dudas, la capacidad importadora del Tercer Mundo, lo cual se debe en lo fundamental a que por ahora, las "ventajas comparativas" no descansan en la disponibilidad de recursos naturales, sino más bien en el desarrollo del secreto tecnológico de la agricultura, características privativas de los países desarrollados.

Así, la ventaja comparativa basada en la abundancia de materias primas es ahora "relativa" porque el surgimiento de los productos sintéticos permite que un mismo producto final se pueda fabricar a partir del petróleo, caña de azúcar, paja, madera, e incluso desperdicios, hecho que incrementa el número de nuevas posibilidades de sustitución.

El caso del azúcar y de los nuevos edulcorantes<sup>20</sup> constituye el ejemplo representativo de lo que puede suceder a futuro con la sustitución de una sustancia natural que hoy por hoy ha provocado un desquiciamiento en el mercado mundial del azúcar. Los precios están en la actualidad al nivel más bajo desde la Segunda Guerra Mundial y ya no alcanzan a cubrir siquiera los costos de producción. De esta manera, el azúcar es cada vez menos una fuente de divisas. La situación se hace tanto más desalentadora en tanto que alrededor de 50 millones de habitantes de los países subdesarrollados dependen de la producción azucarera, y de éstos, entre 15 y 20 millones directamente de las exportaciones.<sup>21</sup>

Un incremento de las posibilidades de sustitución de productos naturales por productos "fabricados", puede significar, definitivamente, el colapso del mercado para muchos cultivos de exportación de países del Tercer Mundo.

El descenso de los precios de las materias primas, o bien el colapso de los mercados de éstas, tienen efectos que de manera obligada repercuten en la capacidad de importación de los países en desarrollo, puesto que ahora no cuentan con las divisas que les proporcionaban sus materias primas. Asimismo ven disminuida su capacidad de pago de la deuda externa, tanto del principal como del pago de intereses.

Otro aspecto que es necesario señalar es la relocalización de las

<sup>20</sup> Entre éstos están los jarabes glucosados de maíz, el aspartamo (Canderel, 200 veces más dulce que el azúcar y la thaumatococina, 250 veces más). Véase Amarella Eastmond, en *Cultivo de tejidos vegetales en México*, Robert y Loyola, compiladores, México, CONACYT, 1985.

<sup>21</sup> Véase Gerd Junne, en *Revolución tecnológica y empleo*, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, México, 1986.

fuentes de materias primas que por fuerza serán afectadas en los países del Tercer Mundo, sobre todo y en primer término la agricultura y las materias primas en general.

Si bien después de la Segunda Guerra Mundial la empresa trasnacional tenía al mundo como fábrica, es decir un mercado fragmentado, en el que los componentes de un producto se podían producir en diferentes partes del mundo y el capital productivo se descomponía en etapas diferentes. *Verbigracia*: el capital norteamericano se podía dedicar a la producción de hortalizas en suelo mexicano, o al cultivo de oleaginosas en Brasil, el que a su vez exporta la materia prima hacia Holanda, quien a su vez realiza el procesamiento, todo ello bajo la hegemonía de capital norteamericano, controlado por una trasnacional. Sin embargo, ahora la situación se va a modificar. A partir de esta ola biotecnológica, el capital productivo ya no se dirigirá a la internacionalización, sino al establecimiento de centros regionales de producción. El hecho de que la producción ya no esté sujeta a tantas restricciones, abre a los países desarrollados y a sus empresas el abanico de posibilidades de tipo productivo. *Verbigracia*: los productos tropicales no estarán ya sujetos a la restricción climática, o a mano de obra especializada. Tal podría ser el caso del café, cacao, tabaco, etcétera.<sup>22</sup> Por otra parte, es innegable que una menor participación de la mano de obra en el total de los costos de producción, disminuye el incentivo de ubicar la producción en los países donde los salarios son bajos. Por ello es que se refuerza aún más la tendencia a que la actividad económica retorne a los países industrializados.

La influencia fundamental de la biotecnología ocurre, sin embargo, en la estabilización del cambiante esquema internacional del trabajo agrícola. Con ello como ya mencionamos, su ventaja lograda gracias a la sobreproducción conlleva a una rentabilidad baja para el agricultor. La biotecnología aparece entonces como una tabla de salvación para las grandes empresas trasnacionales y para los países industrializados. El bloqueo que experimenta el modelo agroalimen-

<sup>22</sup> Otro cultivo que podría encontrar sustitutos más baratos es la soya. Si la producción de proteína unicelular a partir del metanol se abarata, gran parte de las exportaciones de soya podrían verse afectadas. Durante la década pasada sucedía lo contrario. Los productos de la soya resultaban tan baratos que muchas compañías de países industrializados habían detenido el desarrollo de la producción de proteínas unicelulares porque los precios no permitían que la operación fuera rentable. Actualmente, en la Unión Soviética se produce más de un millón de toneladas de proteínas unicelulares anuales.

tario occidental se agrava no sólo debido al alza de las tasas de interés que arruinan a los productores agrícolas endeudados, sino también por los altos precios de los insumos, en particular los energéticos y la maquinaria. La biotecnología vendría entonces a reducir los costos de producción de los alimentos mediante un ahorro de energía y una valorización de la biomasa. Con el mejoramiento de la productividad agrícola y agroindustrial, se podría entrar a una nueva fase de acumulación. Es así como lo conciben las grandes firmas químicas, petroquímicas y farmacéuticas que invierten en el desarrollo de la biotecnología o que surten con capital de riesgo a pequeñas empresas innovadoras sobre todo en los Estados Unidos.<sup>23</sup>

El desarrollo industrial de la biotecnología a nivel mundial (ver cuadro), se ha concentrado en los Estados Unidos y Japón. Los países de Europa Occidental no han progresado en la misma proporción, ya que sus empresas no se han comprometido con ímpetu en la búsqueda de nuevos desarrollos biotecnológicos. Sin embargo, Gran Bretaña tiene mayores posibilidades de competir en esta área seguida por Alemania y Suiza. Los países subdesarrollados tienen muy escasas posibilidades de incidir a nivel mundial,<sup>24</sup> por lo cual sólo serán receptores pasivos de la nueva tecnología agroalimentaria, salvo Argentina, Brasil y México, que gracias a su mayor infraestructura y la atención que han puesto en algunos rubros, pueden resistir en alguna medida los embates de las empresas transnacionales. El punto de defensa más importante de estos últimos países estaría en el uso que hagan de su germoplasma, del cual son proveedores en aproximadamente 95 por ciento de las 50 principales variedades base de la producción agrícola mundial.

Es innegable que la biotecnología ha alcanzado logros espectaculares, mencionados a lo largo de este trabajo y que, al igual que con la Revolución Verde, se ha pensado que en el renglón alimentario podría inaugurar una era de abundancia para los países subdesarrollados. Nada más lejos de la realidad si consideramos que buena parte de los problemas alimentarios que hoy enfrenta la humanidad no tienen su origen en la esfera de la producción ni en las técnicas mismas *per se*, sino en el manejo que se haga de tales tecnologías, así

<sup>23</sup> Arroyo, Gonzalo. "El desarrollo de la biotecnología: desafíos para la agricultura y la agroindustria", en *Revolución tecnológica y empleo*, pp. 36-37.

<sup>24</sup> Quintero y Funes, *Op. cit.*

como el efecto de diversos factores económicos, sociales y políticos en los que se inserta el cambio tecnológico.

Consideramos que la biotecnología es una espada de doble filo, porque si bien es capaz de colapsar mercados internacionales de materias primas y de acelerar la obsolescencia de algunos productos, también es cierto que gracias a su especificidad, su aplicación no requiere de un paquete tecnológico ya que la técnica misma refleja cierta flexibilidad para emprender proyectos necesarios y viables.

Creemos que el estudio y la aplicación de la biotecnología debe constituir una de las prioridades del desarrollo científico con el fin de prever las consecuencias que éste pueda tener para nuestro país.

En el momento actual, resulta necesario, antes de que se rebase la oportunidad para reorganizar la investigación biotecnológica formulando un plan nacional, un nuevo ordenamiento de la agricultura desde el cual se traten problemas básicos de la subsistencia alimentaria, distribución del ingreso, y reasignación adecuada de recursos.

Asimismo, es necesario la formulación de estrategias precisas a corto, mediano y largo plazo que permitan prever los posibles impactos negativos y desarrollar proyectos propios adaptados al entorno político, social y cultural del país.

**Glosario\***

Acido desoxirribonucleico (ADN)	La molécula portadora de la información genética de la mayoría de los sistemas vivos. La molécula de ADN tiene 4 bases (adenina, citosina, guanina y timina) y una estructura de azúcar y fosfato, arreglada en dos tiras conectadas que forman una doble hélice. Véase también ADN complementario, doble hélice, ADN recombinante.
Acido ribonucleico (ARN)	Una molécula similar al ADN, cuya función principal consiste en decodificar las instrucciones para la síntesis de proteínas que llevan los genes. Véase también ARN mensajero, ARN de transferencia.
ADN recombinante ADN <sub>r</sub>	El ADN formado al combinar segmentos de ADN en diferentes tipos de organismos.
Base	En la molécula de ADN, una de las 4 unidades químicas que, según su orden de unión por pares representan los diferentes aminoácidos. Las 4 bases son: adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T). En el ARN, el uracil (U) sirve de sustituto de la timina.

\* Tomado de Pedro Acha N. *Glosario de biotecnología (Tecnología del ADN)*, IICA-CPS-OEA-CIE, San José, Costa Rica, 26-29 enero, 1988.

Biomasa	Toda la materia orgánica que crece mediante conversión fotosintética de la energía solar. En Biotecnología se refiere al uso de celulosa, un recurso renovable, para la producción de sustancias químicas empleables para generar energía o como materia prima sustitutiva para la industria química, a fin de reducir la dependencia de combustibles fósiles no renovables.
Biotecnología	Ampliamente definida, incluye cualquier técnica en la que se emplean organismos vivos (o parte de éstos) para fabricar o modificar productos, mejorar plantas o animales o crear microorganismos para usos específicos. La producción se puede efectuar con organismos intactos, como levaduras y bacterias, o con sustancias naturales (como enzimas) de los organismos.
Callo	Un grupo de células vegetales indiferenciadas que en algunas especies pueden inducir la formación de toda la planta.
Célula	La masa de materia viva rodeada de una membrana; la unidad básica estructural y funcional de la mayoría de los organismos.
Clon	Una colección de células u organismos genéticamente idénticos que se han obtenido en forma asexual de un antepasado común; todos los miembros de un clon tienen una composición genética idéntica.
Cultivo de tejido	Crecimiento <i>in vitro</i> en un medio nutritivo de células aisladas de tejido.

Cultivo celular	La proliferación <i>in vitro</i> de células aisladas de organismos multicelulares. Estas células son comúnmente de un sólo tipo.
Doble hélice	Término empleado a menudo para describir la configuración de la molécula de ADN. La hélice consiste en dos tiras de nucleótidos en forma de espiral (un azúcar, un fosfato y una base unidos transversalmente por pares específicos de bases). Véase también ácido desoxirribonucleico, base, par de base.
Endonucleasa	Una enzima que rompe los ácidos nucleicos en determinados sitios internos de enlace y produce fragmentos de ácido nucleico de distinta longitud.
Enzima	Una proteína que cataliza una reacción química.
Genética, ingeniería	Tecnología del ADN <sub>r</sub> , empleada para alterar el material genético de las células vivas con el fin de hacerlas producir nuevas sustancias o de desempeñar nuevas funciones.
Genoma	Conjunto de genes que constituye el patrimonio hereditario característico de un organismo o un individuo.
Germoplasma	Toda la variabilidad genética representada por las células germinales o las semillas de que dispone una población particular de organismos.
<i>In vitro</i>	Textualmente, en vidrio; se refiere a una reacción biológica ocurrida en un aparato

	artificial; algunas veces se emplea para incluir el crecimiento de células de organismos multicelulares en un medio de cultivo. Los productos de diagnóstico <i>in vitro</i> se emplean para diagnosticar la enfermedad fuera del cuerpo después de haber tomado una muestra de éste.
Ligasa	Una enzima empleada para unir segmentos de ADN o ARN. Se llama ligasa de ADN o de ARN, respectivamente.
Medio	Una sustancia que contiene nutrientes necesarios para el crecimiento celular.
Microorganismo	Una entidad viva microscópica; los microorganismos pueden ser virus, células procarióticas (como hongos). También se llaman microbios.
Nitrógeno, fijación de	Proceso biológico (comúnmente observado en las plantas) mediante el cual ciertas bacterias convierten el nitrógeno del aire en amoníaco, con lo que forman un nutriente esencial para el crecimiento.
Plásmido	Anillo extracromosómico de ADN que se autorreplica en forma autónoma y se encuentra especialmente en las bacterias; los plásmidos (y algunos virus) se emplean como "vectores" para clonación del ADN en células bacterianas "huéspedes".
Proteína	Una molécula compuesta de aminoácidos. Hay muchos tipos de proteínas, y todas realizan varias funciones diferentes que son esenciales para el crecimiento celular.
Protoplasto	Una célula sin membrana.

Vacuna Una preparación que contiene un antígeno, hecha con los organismos completos causantes de la enfermedad (muertos o atenuados) o partes de esos organismos. Se emplea para conferir inmunidad contra la enfermedad que causaron aquéllos. Las preparaciones para vacunas pueden ser naturales o sintéticas o pueden obtenerse con tecnología del ADN recombinante.

## BIBLIOGRAFIA

ACHA N., Pedro. *Glosario de Biotecnología (Tecnología del ADN)*, IICA/OPS/OEA/OIE, San José, Costa Rica, 26-29 enero 1988.

ARROYO, G., y M. Waisbluth. *Desarrollo Biotecnológico en la producción agroalimentaria de México: orientaciones de política*. ONU-CEPAL, LC/MEX/L. 77 (Sem. 22/2), México, marzo 1988.

BURG, Andrea. "El desarrollo de la ingeniería genética en México", en *Información Científica y Tecnológica*, Vol. 4, Núm. 71, CONACyT, México 1982.

CASAS, Rosalba. "La biotecnología agrícola y agroindustrial en México: estado actual y perspectivas", en *La agroindustria en México*. Primer Seminario Nacional sobre la Agroindustria en México, Chapingo, 1987.

DE WAIT, I, B. "Mexico's Second Green Revolution", en *Estudios Mexicanos*, Vol. 1. Núm. 1, México, 1985.

EASTMOND, Amarella. "El cultivo de tejidos vegetales en México.", en Robert y Loyola (Comps), CONACyT, México, 1985.

"El estado actual de la biotecnología vegetal en México: análisis de las tendencias en investigación", en *La agroindustria en México*, Primer Seminario Nacional sobre la Agroindustria en México, Chapingo, 1987.

GONZALEZ, Rosa L. y Rodolfo Quintero. *Biotecnología y alimentos*, UNICAMP, Campinas-sp, Brasil, abril 16-18, 1986.

GRALL, Jacques y Bertrand Roger Levy. *Le guerre des Semences. Quelles moissons, quelles sociétés?* Fayard, Paris, 1985.

HURTADO M., Daniel y Ma. Eugenia Merino M. *Cultivo de tejidos vegetales*, Ed. Trillas, México, 1987.

JUNNE, Gerd. *Revolución tecnológica y empleo*, Secretaria del Trabajo y Previsión Social, México, 1986.

LOPEZ Munguía, A. y Rodolfo Quintero Ramírez (Comps.) "Introducción a la tecnología enzimática" en *Tecnología enzimática, aplicaciones en alimentos y medicina*. PUAL-UNAM, México, 1987.

QUINTERO Ramírez, Rodolfo (Comp.) *Perspectiva de la biotecnología en México*. Fundación Javier Barros Sierra, CONACyT, México, 1985.

"La agricultura y el cambio tecnológico: desarrollo y dependencia", Ponencia presentada en el *Sexto Seminario sobre Economía Agrícola*, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, nov. 5, México 1986.

ROBERT, Manuel L. y Víctor Manuel Loyola (Comps.) *El cultivo de tejidos vegetales en México*, CICY-CONACyT, México, 1985.

RUIVENKAMP, Guido. *Biotechnology: the production of new relations with the agroindustrial chain of production*. World Food Assembly, Rome, 12-15 november, 1984.

*The impact of Biotechnology on International development: competition between sugar and new sweeteners* Z.W.O. University of Amsterdam, Vierteljahrsberichte, Nr. 103, mayo 1986, s. 89-101.

SASSON, A. *Las biotecnologías, desafíos y promesas*. UNESCO, París, 1984.

VILLALOBOS, Víctor. "Plantas libres de virus", en *Ciencia y Desarrollo*, Año VI, núm. 33, México, 1980.

VINIEGRA, Gustavo. "La biotecnología: oportunidades y limitaciones" en *Estudios de caso, Núm. 1*, CIDE. 1985.

YANCHINSKI, S. *La revolución biotecnológica*, Ed. Debate, Madrid, 1985.

ZELEDON, Rodrigo. *Significado de la nueva biotecnología para América Latina y el Caribe*. IICA/OPS/OEA/OIE, San José Costa Rica, 26-29 enero, 1988.