

**LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO:
TENDENCIAS EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO**



ROSALBA CASAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES**

Rosario Corzo

**La investigación biotecnológica en
México: tendencias en el sector
agroalimentario**

LA INVESTIGACION
BIOTECNOLOGICA EN
MEXICO:
TENDENCIAS EN EL SECTOR
AGROALIMENTARIO



Instituto de Investigación
Tecnológica y Biología
Agropecuaria

La investigación biológica
Médica y el desarrollo del ser humano
y el medio ambiente

/

Instituto de Investigaciones Sociales
Colección Problemas Nacionales

Rosalba Casas

**LA INVESTIGACIÓN
BIOTECNOLÓGICA EN
MÉXICO:
TENDENCIAS EN EL SECTOR
AGROALIMENTARIO**



Instituto de Investigaciones Sociales
Universidad Nacional Autónoma de México
1993

Coordinación editorial: Sara Gordon Rapoport

Edición al cuidado de Adriana Guadarrama

Primera edición: 1993

DR. © 1993, Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Investigaciones Sociales

Torre II de Humanidades, 7° piso

Ciudad Universitaria, 04510, México D. F.

Impreso y hecho en México

ISBN 968-36-3098-7

Portada: Juan Berruecos

ÍNDICE

Introducción	XIII
CAPÍTULO I	
LA BIOTECNOLOGÍA EN EL MARCO INTERNACIONAL	1
1.1 Tendencias internacionales en el desarrollo de la biotecnología	4
1.2 La relevancia de la biotecnología para los países del Tercer Mundo	13
1.3 La promoción de una estrategia biotecnológica pa- ra América Latina	29
CAPÍTULO 2	
LA BIOTECNOLOGÍA EN LA PROBLEMÁTICA AGROALIMENTA- RIA EN MÉXICO	43
2.1 Problemática del sector agropecuario	45
2.2 La industria alimentaria	52
2.3 Situación nutricional de la población	56
2.4 Políticas alimentarias gubernamentales	58
2.5 Demandas del sector agroalimentario para el de- sarrollo de la biotecnología	61
Capítulo 3	
LA BIOTECNOLOGÍA VEGETAL EN MÉXICO	65
3.1 Unidades e instituciones de investigación: orígenes y condición actual	69
3.2 Campos de investigación en biotecnología vegetal	72
3.3 Especies, cultivos y técnicas	75

3.4 Recursos dedicados a la investigación en biotecnología vegetal	93
3.5 Vinculación con el sector productivo	103
CAPÍTULO 4	
LA BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL EN MÉXICO	111
4.1 Unidades e instituciones de investigación: orígenes y situación actual	115
4.2 Campos de investigación en biotecnología agroindustrial	120
4.3 Sustratos, técnicas y productos finales: viabilidad científico-técnica y factibilidad económica	124
4.4 Disponibilidad de recursos en biotecnología industrial	151
4.5 Lazos con el sector productivo	163
CAPÍTULO 5	
MARCO INSTITUCIONAL PARA EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA	169
5.1 Organización interna de las instituciones de investigación biotecnológica	170
5.2 La formación de recursos humanos en biotecnología	179
5.3 La vinculación con el sector productivo	188
CAPÍTULO 6	
HACIA UNA POLÍTICA BIOTECNOLÓGICA	199
6.1 La política biotecnológica entre 1982-1988	199
6.2 Organizaciones internacionales y la biotecnología en México	211
6.3 La política biotecnológica en los años noventa	215
6.4 Espacios políticos para el desarrollo de la biotecnología	229
CAPÍTULO 7	
RELEVANCIA DE LA BIOTECNOLOGÍA PARA EL SECTOR AGROALIMENTARIO	233

7.1 Principales características institucionales de la investigación biotecnológica	234
7.2 Tendencias en la investigación en biotecnología vegetal	237
7.3 Tendencias de la investigación en biotecnología agroindustrial	239
7.4 Impactos socioeconómicos potenciales	241
7.5 Limitaciones para el desarrollo biotecnológico	244
7.6 Orientaciones de política para el desarrollo biotecnológico en México	248
APÉNDICE	263
ÍNDICE DE CUADROS	269
BIBLIOGRAFÍA	273

INTRODUCCIÓN

El sector agroalimentario mexicano atraviesa desde hace más de una década por una crisis de tipo estructural, para cuya solución es necesario plantear una nueva estrategia que considere, entre otros muchos aspectos, una redefinición del papel que debe jugar la tecnología y determine el tipo de desarrollos tecnológicos más convenientes para apoyar a los distintos sectores sociales.

México cuenta con una larga experiencia en el desarrollo de la investigación agrícola y alimentaria y este campo de trabajo ha recibido apoyo y ha estado permanentemente promovido en el sector educativo, así como en instituciones gubernamentales. La investigación agrícola, en particular, recibió un importante impulso del Estado desde los años treinta. El mejoramiento y producción de semillas ha sido una de las áreas centrales de la investigación agrícola, que desde los años cincuenta desarrolla el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, ahora INIFAP, responsable de esa actividad.

Esto ha llevado a que los centros de educación superior, distribuidos en diferentes regiones del país, cuenten con una capacidad importante de investigación relacionada con la agricultura y la alimentación. Hacia mediados de los años ochenta se habían identificado aproximadamente 200 unidades de investigación en este campo, dependientes de centros de educación universitaria y tecnológica o de organismos gubernamentales (COSNET, 1983).

Sin embargo, se cuenta con muy poca información sobre las características de la investigación en esas áreas, así como sobre las potencialidades de su capacidad para la solución de los problemas que aquejan a ese sector. Por otro lado, es ampliamente conocido que la empresa alimentaria privada, que está constituida en un elevado porcentaje por empresas extranjeras, realiza muy escasas actividades de investigación. La mayor parte de la tecnología

empleada por este sector es importada y, en el caso de la industria transnacional, las actividades de investigación se desarrollan en sus casas matrices. En ocasiones las empresas transnacionales emplean la investigación que se realiza en los centros de educación nacionales, para efectuar sus desarrollos tecnológicos.

La investigación agroalimentaria en México presenta una gran heterogeneidad, debida a la gran diversidad de instituciones que intervienen en su desarrollo, a la falta de integración de las actividades de esas instituciones y a la variada gama de temáticas que se investigan.

La investigación agrícola presenta también una gran dispersión, ya que se trabaja con un número muy grande de especies y cultivos agrícolas, no siempre relacionados con necesidades apremiantes de la población. Las líneas de investigación se concentran en la consideración de los problemas que afectan a la producción agrícola en su fase posterior a la cosecha, tales como contaminación, conservación y almacenamiento, más que en los aspectos de las características genéticas, reproductivas y adaptativas de los cultivos.

Al examinar las temáticas de la actual capacidad de investigación relacionada con el sector agroalimentario, destaca la importancia que está adquiriendo la biotecnología como campo de investigación relacionado con dicho sector. Tomando en cuenta la discusión que se ha dado desde mediados de los años ochenta en la esfera internacional sobre la biotecnología, su relevancia y las potencialidades que ofrece para superar los problemas agrícolas y alimentarios y, por otro lado, las amenazas que representa para los sectores agroalimentarios de los países en desarrollo, resulta importante analizar la capacidad de investigación en esta área con la que cuenta México e identificar su pertinencia para los problemas agroalimentarios que confronta el país.

Es así que en este libro se presentan los resultados de un análisis empírico que tuvo como objetivo identificar la naturaleza de la actual capacidad de investigación biotecnológica y determinar si dicha capacidad tiene una relación potencial con los problemas agrícolas y alimentarios de México. A partir del análisis detallado de las orientaciones y problemas a los que se enfrenta esta área de investigación, se identifican opciones y oportunidades en biotecnología, dadas las capacidades acumuladas y se proponen áreas prioritarias que consideren tanto las capacidades de investigación ya desarrolladas como la problemática agroalimentaria que requiere de soluciones o de nuevas alternativas tecnológicas.

cas. El estudio que se presenta en este libro no pretende analizar o evaluar el impacto social de la biotecnología, ya que se trata de un área de investigación aún en gestación y con muy escasas aplicaciones productivas. El objetivo es determinar exclusivamente la relevancia potencial de la capacidad de investigación biotecnológica en relación con problemas locales y sociales específicos y no sus impactos reales.

El estudio que se incluye en esta obra identifica los principales campos de investigación biotecnológica que están siendo promovidos por las universidades y por los institutos y centros gubernamentales en el área agroalimentaria. Asimismo, se discute si este tipo de investigación ofrece un potencial relevante para satisfacer requerimientos alimentarios específicos, y si dicha capacidad podría mejorar la producción de alimentos básicos para la población. Con los aspectos considerados en esta investigación, se trata de contribuir a un análisis cualitativo de las actividades de investigación biotecnológica generadas por los centros de educación superior en México. Es así que se presenta un análisis que permita comprender los problemas y limitaciones que están frenando el desarrollo de la biotecnología. Entre estos factores se consideran las limitaciones de orden científico-técnico que aún es necesario superar para el desarrollo de esta área, los obstáculos existentes para la aplicación industrial de sus resultados y las características de las políticas gubernamentales que actualmente inciden en el desarrollo de esta área de investigación.

Para efectos del presente análisis, la capacidad de investigación biotecnológica se divide en dos grandes áreas. Esta división obedece a distintos criterios entre los que destacan el tipo de técnicas empleadas, la naturaleza del objeto de estudio (cultivo o sustrato), así como el tipo de producto final que será obtenido (cultivo mejorado, o productos procesados para la alimentación humana y animal, insumos agrícolas y otros productos).

A la primera de estas áreas se le denomina *biotecnología vegetal*, que abarca el mejoramiento de semillas mediante su manipulación *in vitro*, y que repercutirá en la producción agrícola. La segunda área se identifica como *biotecnología agroindustrial*, que se basa en el uso de recursos naturales tales como esquilmos y subproductos agrícolas y agroindustriales, para su reciclaje y enriquecimiento. De esta área de investigación biotecnológica se derivan productos de interés para la agroindustria alimentaria y no alimentaria.

El término *biotecnología vegetal* (*plant biotechnology*) es usado, entre otros autores, por Shaw (1984) para referirse a la aplicación

de técnicas de genética celular y molecular a plantas. Por su parte, el término biotecnología agroindustrial, aunque no empleado explícitamente en la literatura biotecnológica, se refiere a un área de investigación ampliamente extendida que se relaciona con el uso de sustratos generados en la fase de transformación de productos agropecuarios.

Además de los criterios expuestos en el párrafo anterior, la diferenciación entre estas dos áreas biotecnológicas se sustenta en que cada una de ellas se relaciona con etapas diferentes de lo que ha sido denominado como cadena agroalimentaria (Arroyo, Rama y Rello, 1985).¹ Así, la biotecnología vegetal se relaciona con la etapa de producción agrícola, en tanto que la biotecnología agroindustrial tiene que ver con la etapa de procesamiento de los productos agropecuarios, ya que emplea sustratos producidos en esa fase y genera productos transformados a partir de los mismos.

El análisis de estas dos áreas de investigación se basa en la aplicación de cuatro criterios centrales, cada uno de los cuales requiere de un enfoque metodológico distinto y que, en su conjunto, proporcionan un análisis bastante detallado de los principales problemas a los que se enfrenta el desarrollo biotecnológico en el país, con relación al área agroalimentaria:

1) Viabilidad científico-técnica. A través de este criterio se trata de identificar las posibilidades o limitaciones existentes para el desarrollo de ciertas líneas de investigación. Para este propósito, se consideran las tendencias generales de la investigación en biotecnología vegetal y agroindustrial a nivel internacional, con lo que se podrá determinar si las limitaciones científico-técnicas identificadas en la investigación que se realiza en México ya han sido superadas en otra parte del mundo o si aún esto constituye un reto para la investigación biotecnológica internacional.

2) Factibilidad económica de los procesos biotecnológicos que se han desarrollado en los centros de investigación. Se hace necesario identificar los factores que determinan que un proceso biotecnológico sea económicamente atractivo. Este criterio es un aspecto fundamental, ya que la transferencia de las capacidades

¹ Dicha cadena, según lo sostienen estos autores, se relaciona con los itinerarios seguidos por los bienes de naturaleza agroalimentaria en el aparato de producción-transformación-distribución y con los diferentes flujos que se dan en el interior de ese aparato. La cadena agroalimentaria se desagrega en diversos eslabones o etapas: producción "hacia arriba" de la finca, de insumos industriales utilizados en las actividades agropecuarias; producción agropecuaria; procesamiento de productos agropecuarios; distribución de los productos agropecuarios procesados hasta el consumo final, y servicios tales como créditos, asistencia técnica, servicios tecnológicos y publicidad (Arroyo, Rama y Rello 1985, p. 56).

biotecnológicas de los centros de investigación al sector productivo está en gran parte condicionada por la factibilidad económica de los procesos. Es decir, que el interés de la industria radica en que se demuestre que el proceso biotecnológico en cuestión sea económicamente rentable. La factibilidad económica es el factor que, en última instancia, determina la aplicación industrial de los procesos generados por la investigación. La consideración de este factor ayudará a identificar si la falta de factibilidad económica se constituye en una limitación importante para la aplicación industrial de los procesos biotecnológicos generados en los centros de educación superior y organismos gubernamentales.

3) Características de las oportunidades políticas existentes, tanto para el desarrollo e impulso de las áreas de investigación, como para su potencial aplicación y utilización. Estas oportunidades están expresadas, en forma explícita e implícita, en los planes y políticas nacionales que definen los mecanismos de política a través de los cuales se desarrolla y promueve la biotecnología. El análisis de los documentos que contienen dichos planteamientos de política, así como las acciones concretas que realizan diversas instituciones nacionales para la promoción de la biotecnología, sirve de base para identificar la problemática actual de la política gubernamental en torno a la biotecnología. Asimismo, se analiza la información concerniente a otros mecanismos de política provenientes de la esfera internacional y que influyen en las orientaciones prevalecientes en la investigación biotecnológica de los centros educativos.

Estos factores constituyen el marco de política en el que se desenvuelve la biotecnología, y su análisis ayudará a determinar el grado de efectividad de los mecanismos de política existentes en planes y programas, así como en las instituciones gubernamentales e internacionales. De ahí que será posible definir, con la ayuda de estos factores, si México cuenta con una política organizada y coherente, así como con una voluntad política efectiva para el desarrollo de una estrategia biotecnológica.

4) Relevancia social. Este criterio será analizado para definir la importancia potencial que revisten los procesos biotecnológicos para resolver los problemas agroalimentarios de México. Este criterio coadyuvará a definir si las actuales orientaciones de la investigación biotecnológica en el país plantean soluciones a los principales problemas que afronta actualmente el sector agroalimentario o si, por el contrario, las orientaciones que está siguiendo ese campo de investigación tienden a favorecer a la agricultura

comercial, reproduciendo patrones de desarrollo agrícola orientados a las exportaciones y promoviendo tecnologías que difícilmente serán accesibles para la agricultura campesina y que no atienden las necesidades prioritarias de la población.

Metodológicamente es importante señalar que estos cuatro aspectos no son necesariamente interdependientes. En el desarrollo de la investigación científica y tecnológica se observa que una vez superadas las limitaciones científico-técnicas y lograda la factibilidad económica de los procesos biotecnológicos, y habiendo encontrado oportunidades políticas adecuadas para la aplicación de estos procesos, las repercusiones sociales de los procesos o productos biotecnológicos no siempre plantean una respuesta positiva a las necesidades de la población. Por el contrario, los procesos así generados pueden plantear una respuesta adecuada a objetivos de competencia comercial y de desarrollo de mercados nacionales e internacionales, prescindiendo de objetivos de orden social y contribuyendo asimismo a la acentuación del desempleo y de la dependencia tecnológica.

Los cuatro criterios enumerados en los párrafos anteriores son considerados en la parte empírica de esta investigación. Los dos primeros aspectos, es decir, la viabilidad científico-técnica y la factibilidad económica, son analizados en forma particular para cada una de las áreas de investigación biotecnológica, ya que como se verá adquieren características específicas. Las oportunidades políticas así como la relevancia social, son analizadas en forma conjunta para las dos áreas de investigación.

Paralelamente al análisis de esos cuatro criterios se examinan aspectos específicos de la biotecnología vegetal y la agroindustrial, entre otros: a) características institucionales de las unidades de investigación. b) Campos de la investigación biotecnológica. Se consideran tanto los cultivos o subproductos que se investigan, como las técnicas que se emplean en el proceso de investigación. En el caso de la biotecnología agroindustrial se hace también referencia al tipo de productos que se piensa obtener. Esta información ayudará a determinar la relevancia de las orientaciones de la investigación con relación a la problemática agroalimentaria por la que atraviesa el país. Asimismo, permitirá definir el tipo de patrón agroindustrial que estaría promoviendo la investigación biotecnológica que se genera en los centros educativos y en los institutos gubernamentales. c) Disponibilidad de recursos humanos, financieros y materiales. Esta información permitirá definir la magnitud de los recursos con los que cuenta el país, sus proble-

mas organizativos, así como sus interrelaciones con fuentes de financiamiento nacionales y extranjeras. Estos elementos de análisis ayudarán a conformar un panorama de las instituciones líderes en la investigación biotecnológica, y a definir las posibilidades y la magnitud que adquirirán los desarrollos biotecnológicos en el futuro. *d*) Vinculaciones de la investigación académica con el sector productivo. Este elemento adquiere gran relevancia en el análisis de la capacidad de investigación biotecnológica, ya que esta área tiene un carácter eminentemente aplicativo y su objetivo final es la producción de bienes y servicios. Lo anterior fundamenta la importancia de considerar la problemática actual de la vinculación entre los centros de investigación biotecnológica y el aparato productivo. En México existen serios problemas de vinculación entre esos dos sectores. Sin embargo, es necesario definir el tipo de patrón de vinculación para determinar si en el país se está gestando una situación similar a la que se ha producido en los países desarrollados con el auge de la biotecnología, o si por el contrario se está definiendo un patrón particular de vinculación.

El análisis de la capacidad de investigación biotecnológica que se presenta en este libro, considera el conjunto de cultivos y productos relacionados con la agricultura y la alimentación y, por lo tanto, el universo de estudio se conforma con todas las instituciones que desarrollan investigación biotecnológica sobre algún cultivo o producto agroindustrial.² Por lo anterior, se incluye información sobre la investigación biotecnológica que se desarrolla en relación con el maíz, sorgo, oleaginosas, caña de azúcar, yuca, recursos forestales, flores, frutos, hortalizas, así como sobre la investigación de esquilmos agrícolas y de otros productos y subproductos agroindustriales.

El trabajo de campo se desarrolló con base en la investigación directa con los participantes en la actividad biotecnológica, tanto investigadores como funcionarios públicos.³ La recopilación de la información se basó en la entrevista directa y abierta mediante la

² Para la depuración del universo de estudio se utilizaron múltiples fuentes de información a las que se hará referencia detallada en cada uno de los capítulos del libro. Después de elaborado un listado preliminar, se procedió a comunicarse telefónicamente con todas las unidades de investigación, tanto para ratificar si aún realizaban investigación, como para concertar citas para entrevistas personales, o para hacerles saber del envío postal del cuestionario.

³ Este hecho permite la inclusión, en los capítulos de análisis empírico, de algunas afirmaciones que no se derivan directamente de la información que se incluye en esos capítulos, pero que fueron obtenidas como resultado de la investigación directa con los diferentes actores que intervienen en el desarrollo biotecnológico en México.

utilización de un guión preestablecido. Cuando no se pudo recurrir a la entrevista directa—lo que sucedió para un grupo de instituciones de investigación localizadas en el interior del país— se optó por el envío postal de un cuestionario, elaborado con base en el guión de entrevista y en la experiencia que ya se había adquirido en esa etapa del trabajo de campo. Los actores que se consideraron en el trabajo de campo quedaron comprendidos en tres grupos:

a) El primer grupo incluyó a los investigadores en biotecnología concentrados en los centros de investigación universitarios y gubernamentales, así como en institutos tecnológicos regionales dispersos por todo el país. Se realizó un gran número de entrevistas en el Distrito Federal y se viajó a cuatro estados del interior del país (Jalisco, Yucatán, Veracruz y Oaxaca).

b) Posteriormente se desarrollaron entrevistas con funcionarios públicos que laboran en las instituciones gubernamentales que intervienen en la política explícita e implícita en biotecnología. Durante esta etapa, se recogió información sobre los mecanismos de apoyo al desarrollo biotecnológico, así como sobre las prioridades que el Estado ha definido para el desarrollo de esta área de investigación.

c) Finalmente, se realizó un número reducido de entrevistas con funcionarios de empresas estatales y privadas, que emplean procesos biotecnológicos generados en el país o importados. También se consideró a algunas empresas, que aun cuando no trabajan con procesos biotecnológicos, han hecho declaraciones públicas sobre su interés por entrar a las áreas agrícola y agroindustrial de la biotecnología y por canalizar inversiones a ese sector.

En total se realizaron 80 entrevistas con investigadores de centros de investigación, seis entrevistas a funcionarios públicos encargados de la puesta en práctica de la política científica y tecnológica en diversas dependencias gubernamentales y cinco entrevistas a funcionarios de empresas públicas y privadas.⁴ Además se enviaron cuestionarios a aproximadamente 20 instituciones de investigación en el interior del país, y se recibieron respuestas de 13 de esas instituciones. Paralelamente a la realiza-

⁴ En el Apéndice del libro se incluye el listado completo de las personas entrevistadas, indicándose el nombre de la institución, el nombre del entrevistado o de la persona que respondió el cuestionario, así como la fecha de realización de la entrevista. Las entrevistas fueron transcritas mecanográficamente y ordenadas en relación con los criterios y aspectos de interés para esta investigación. Aunque se cuenta con este material, en el que está concentrada la información recopilada durante el trabajo de campo, por el gran volumen que representa no es posible incluirla en el Apéndice final.

ción del trabajo de campo,⁵ se efectuaron otras actividades de recopilación de información mediante la participación y asistencia a diversos encuentros académicos en biotecnología, tanto en el ámbito nacional como en el internacional latinoamericano.⁶ Dichos encuentros constituyeron una excelente oportunidad para identificar los principales argumentos de la discusión sobre la relevancia de la biotecnología para el subcontinente, y de las limitaciones que aún es necesario resolver para el logro de impactos sociales relevantes.

Considerando los objetivos y metodología expuestos, el libro se divide en tres grandes secciones, que se organizan en la siguiente forma:

La primera sección se refiere a la construcción de un marco de referencia que incluye los capítulos 1 y 2. En el capítulo 1 se analizan las tendencias generales de la biotecnología en el mundo desarrollado y se discuten los argumentos que se han sostenido sobre la importancia del desarrollo biotecnológico para los países del Tercer Mundo y particularmente para América Latina. En el capítulo 2 se presentan los principales problemas que confronta el sector agroalimentario en México y de esta revisión se deriva un conjunto de planteamientos hipotéticos sobre las orientaciones relevantes que la biotecnología debería adoptar para contribuir al mejoramiento de esos problemas. Estos supuestos se verifican en capítulos posteriores donde se discute si las orientaciones de la biotecnología en México representan un mecanismo potencial para resolver los problemas agroalimentarios identificados.

La segunda sección incluye los capítulos 3, 4, 5 y 6 en que se presentan los resultados del estudio de caso sobre la investigación

⁵ El trabajo de campo se realizó entre octubre de 1986 y junio de 1987. Entonces el análisis de la información empírica recopilada refleja la situación que prevalecía durante este período. Esto es importante subrayarlo, ya que en los últimos años se han observado cambios muy rápidos en algunos aspectos relacionados con la biotecnología en México, entre los que cabe resaltar: legislación biotecnológica, aplicaciones productivas de los procesos y productos biotecnológicos y mecanismos de política gubernamental. En los capítulos 5 y 6 del libro se realizó un esfuerzo por actualizar la información hasta 1992, sin embargo, los capítulos 3 y 4, que fueron producto de la investigación empírica, se refieren a la situación de la investigación en biotecnología vegetal y agroindustrial hacia 1987.

⁶ Se asistió, entre otras, a las siguientes reuniones, en algunas de las cuales se presentaron los avances de este trabajo: Biotecnología, Producción Agrícola y Recursos Naturales Renovables, 16-18 de abril, 1986, Campinas, Brasil; Congreso Nacional sobre Fijación del Nitrógeno, 26-28 de febrero, 1987, Xalapa, Veracruz (México); Seminario de Biotecnología y Autosuficiencia Alimentaria para México y Centroamérica, 6-10 de abril, 1987, Tegucigalpa, Honduras; II Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, 23-26 de junio, 1987, Durango, Dgo. (México).

en biotecnología vegetal y agroindustrial en México. En estos capítulos se analizan los elementos de la investigación biotecnológica que contribuyen a definir el tipo de desarrollos institucionales que se están dando, la naturaleza de los apoyos materiales para estas áreas de investigación, así como el tipo de recursos agrícolas y productos agroindustriales que las investigaciones en curso están considerando. En estos capítulos se examinan tres de los criterios metodológicos: la viabilidad científica y técnica, los problemas de factibilidad económica y las oportunidades políticas. Se incluye además el análisis de las características institucionales de la investigación biotecnológica, tales como: patrones de formación de instituciones, formas de organización entre los biotecnólogos y mecanismos de política aplicados tanto por el gobierno mexicano como por organizaciones internacionales.

Finalmente, en la última sección del libro se exploran las relaciones entre los resultados del análisis empírico, incluido en la segunda sección, y el marco conceptual y metodológico detallado en la primera sección. Se discute la relevancia social de la investigación biotecnológica en México y se elaboran las conclusiones, así como las propuestas de política para el futuro desarrollo de la biotecnología en México.

No podría concluir esta introducción sin hacer patente que a lo largo de este trabajo numerosas personas contribuyeron de manera directa o indirecta a su desarrollo. Quiero agradecer en primer lugar el apoyo brindado por el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM para la realización de esta investigación. Agradezco los comentarios sustanciales de miembros de diferentes dependencias académicas dentro de la UNAM; del grupo de investigación Biotecnología y Agricultura de la UAM-Xochimilco, coordinado por Gonzalo Arroyo, y del grupo de investigación Biotecnología y Sociedad de la UAM-Azcapotzalco, coordinado por Michelle Chauvet. Asimismo, quiero reconocer el importante intercambio académico sostenido con Karel Chambille, durante el proceso de la investigación, y la enorme colaboración de los biotecnólogos entrevistados, quienes me brindaron la oportunidad de comprender los aspectos científicos y técnicos de su campo de investigación, que para una investigadora en ciencias sociales representaban un gran reto. Finalmente, expreso mi agradecimiento al apoyo académico que tuvo este trabajo de la Science Policy Research Unit de la Universidad de Sussex, en particular de Erik Millstone, en donde una versión previa a este libro fue presentada como tesis doctoral.

CAPÍTULO I

LA BIOTECNOLOGÍA EN EL MARCO INTERNACIONAL

En el contexto del acelerado desarrollo de nuevas tecnologías, resulta primordial analizar las orientaciones actuales de la biotecnología por lo que se refiere a sus relaciones con la agricultura y la alimentación. A partir de dicho análisis, se podrá definir si las tecnologías que se están derivando de este campo de investigación contribuirán a delinear una nueva estrategia de desarrollo para el sector agroalimentario o si, por el contrario, tenderán a reforzar la estrategia agroalimentaria actualmente vigente en los países desarrollados y que está siendo transferida a los países en vías de desarrollo.

La biotecnología, tal como lo han sostenido diversos autores (Sasson, 1984; Ançiaes y Cassiolato, 1985; Quintero, 1985; Sharp, 1985), ha recibido múltiples definiciones. Ha sido definida, por ejemplo, como sinónimo de ingeniería genética a raíz de los avances que se han dado en ese campo. Sin embargo, puesto que la biotecnología es un área multidisciplinaria y que involucra asimismo un gran número de técnicas, es conveniente adoptar una definición amplia. Con esta perspectiva,¹ para efectos del presente estudio, se concibe que la biotecnología es el procesamiento industrial de materiales por medio de mi-

¹ Para efectos de este estudio se emplea una definición amplia que incluye las diferentes técnicas que se han desarrollado, desde los procesos de fermentación, hasta las técnicas de inmovilización y el desarrollo de las técnicas de ADN-r, a las que se ha denominado ingeniería genética. Asimismo, se adopta en este trabajo la diferenciación, hecha en el Reporte Spinks y citada por Sharp (1985), de tres generaciones en el desarrollo de la biotecnología. Para este propósito se han revisado los análisis de diversos autores sobre el concepto: Bull *et al.*, 1982; Sasson, 1984 y 1986; Higgins *et al.*, 1985; Sharp, 1985.

croorganismos y otros agentes biológicos para producir bienes y servicios (FAST, 1980).

La biotecnología relacionada con el sector agrícola y agroindustrial consiste en la aplicación de muy variadas técnicas: el cultivo de células y de tejidos vegetales, la fusión celular, la ingeniería genética —incluyendo las técnicas de ADN-recombinante—, los procesos de fermentaciones, los procesos enzimáticos y los sistemas de ingeniería que son relevantes para programas agrícolas específicos. Cada conjunto de estas técnicas corresponde a diferentes etapas en el desarrollo de la biotecnología, que han sido clasificadas como primera, segunda y tercera generaciones en el desarrollo biotecnológico, y por primera vez definidas y utilizadas en el Reporte Spink (ACARD, 1980) y posteriormente por Sharp (1985). La biotecnología de primera generación se refiere a los procesos de fermentación para la producción de alimentos y bebidas que datan de la antigüedad; la de segunda generación se caracteriza por los avances en microbiología, el exitoso uso de mutaciones y selección de cepas para mejorar los rendimientos, los refinamientos de los sistemas de fermentación y el desarrollo de procesos continuos; y la de tercera generación se caracteriza por el desarrollo de técnicas de inmovilización enzimática y por los desarrollos de la ingeniería genética que están dando lugar a las combinaciones genéticas y a sus repercusiones en los sectores farmacéutico, agrícola y pecuario (Sharp, 1985).

La biotecnología se institucionaliza en el ámbito internacional como campo de investigación durante la década de los sesenta. Sus aplicaciones y efectos se relacionan con muy diversos sectores e industrias; sin embargo, el sector agrícola ha sido considerado como el área en la que se darán los cambios más importantes. Mediante las nuevas técnicas biotecnológicas se estima que será posible generar especies resistentes a la sequía, a plagas y pestes, y capaces de fijar su propio nitrógeno, así como producir plantas con mayores contenidos nutricionales y obtener nuevos productos agroindustriales.

La biotecnología relacionada con el sector agrícola plantea una nueva alternativa para la adaptación de cultivos a condiciones en las que hasta ahora no se han podido desarrollar, y también ofrece la posibilidad de producir, a partir de recursos renovables y disponibles en abundancia, gran número de sustancias y compuestos para la vida y para mejorar la condición del hombre (Sasson, 1984).

En este capítulo se incluye una revisión de las tendencias y los impactos sociopolíticos, en algunos casos aún potenciales, de la biotecnología. En el primer inciso se introducen elementos sobre las características generales del desarrollo de la biotecnología en los países industrializados. No se trata de presentar un análisis del estado del arte de esta tecnología, sino de discutir los elementos que han caracterizado su desarrollo en relación con su relevancia social, impactos económicos, patrones de desarrollo industrial, limitaciones científicas y futuras promesas aún pendientes de lograr.

Los atractivos potenciales de la biotecnología la han llevado a ser vista por algunos estudiosos como la solución a la crisis de los sectores agrícolas y a considerarla como una panacea para los países del Tercer Mundo. Por esta razón, en el segundo inciso de este capítulo se consideran los argumentos y estrategias que se han delineado para los países del Tercer Mundo. La relevancia de la biotecnología para los países en desarrollo ha sido y sigue siendo objeto de discusión en diferentes foros internacionales organizados, tanto en el mundo desarrollado como en los países en desarrollo (ONUDI, 1981; FAST, 1982; OPS-OMS, 1983; National Academy of Sciences, 1982; TEPLA, 1986; IFIAS, 1989, 1990, 1991; UNESCO, 1990). Es así que en este inciso se hará referencia a los planteamientos que se han elaborado en esos foros y a las diferentes alternativas que se han sugerido para el Tercer Mundo. En esos foros se ha argumentado que la biotecnología es una tecnología muy apropiada para resolver las necesidades básicas de las poblaciones del Tercer Mundo, así como para mantener y emplear la gran diversidad de cultivos existentes en esos países y adaptarlos a condiciones poco propicias para su producción. Se ha sugerido también que los países en desarrollo deben crear aparatos institucionales para fomentar la biotecnología, lo que ha llevado a concertar acciones a nivel internacional para apoyar este campo de investigación, adecuándolo a las necesidades del Tercer Mundo. Estos argumentos serán contrastados con otras posiciones que prevén impactos socioeconómicos negativos de la biotecnología sobre los países en vías de desarrollo.

Finalmente, en el tercer apartado se discuten las propuestas y estrategias que se han planteado para impulsar la biotecnología en América Latina. Dichas propuestas se han elaborado en diferentes foros internacionales, algunos de ellos convocados por organizaciones intergubernamentales y otros organizados por académicos o estudiosos preocupados por el futuro biotecnológico

de la región. En este apartado se presentan y discuten los diferentes planteamientos elaborados en los últimos años para la región latinoamericana.

Este marco de referencia sobre las características de la biotecnología agrícola y agroindustrial a nivel internacional, y sus impactos socioeconómicos potenciales sobre el sector agroalimentario, resulta indispensable para poder contribuir a delinear una estrategia mediante la cual, países como México puedan incorporarse a los avances de esta área de investigación y adecuarla a sus necesidades específicas. Uno de los aspectos de interés para definir las potencialidades de la biotecnología es considerar las capacidades que existen en los países en desarrollo, tanto para incorporar y adaptar tecnologías importadas, como para echar a andar sus propios desarrollos. Éste será el objetivo fundamental del estudio de caso de la capacidad de investigación en biotecnología agrícola y agroindustrial existente en México, y que se presentará a partir del capítulo tercero de este libro.

1.1 Tendencias internacionales en el desarrollo de la biotecnología

La biotecnología ha adquirido un estatus importante en los países desarrollados. Esta área de investigación se ha generado siguiendo diversas modalidades relacionadas tanto con las características particulares de los sectores industriales prevaletentes, como con las áreas de competencia en la investigación científica de cada uno de esos países.

Los patrones de desarrollo de la industria biotecnológica, así como la naturaleza del marco institucional en el que se ha desarrollado la investigación que ha dado origen a los procesos biotecnológicos en Estados Unidos, Japón y Europa occidental, han sido temas analizados por diversos autores (Ançães y Cassiolato, 1985; Kenney, 1982, 1984, 1986; Morehouse y Dembo, 1984; Sharp, 1985). De estos estudios se desprenden las tendencias seguidas por los países líderes en el desarrollo biotecnológico.

La forma en que ha surgido la biotecnología presenta características que la diferencian de otras tecnologías. En esencia, y en esto coinciden diversos autores, se trata de un área que se apoya en la investigación básica y de ahí que su desarrollo haya estado fuertemente vinculado a los centros universitarios y a los institutos de investigación:

Más tal vez que otras tecnologías, con excepción de la fusión nuclear, la biotecnología se deriva de la ciencia universitaria. Hasta la fecha todos los descubrimientos centrales han provenido de las universidades o de las instituciones de investigación, y no de las grandes empresas, y ése es el lugar en donde permanece el centro de gravedad de esta nueva tecnología (Sharp, 1985, p. 120)

Esta situación ha tenido diversas repercusiones, tanto en las relaciones entre universidades e industria, como en los patrones que rigen la actividad de los investigadores universitarios. A este respecto Kenney señala que, por lo que se refiere a Estados Unidos, la estrecha vinculación que se ha producido con la industria ha modificado los roles y objetivos de los investigadores universitarios:

El número de profesores que se están convirtiendo en empresarios es muy significativo ... El claro mensaje para los biólogos ha sido que el dinero, el prestigio, etc., radica en la biotecnología y no en las áreas tradicionales de la biología ... Los científicos están también ahora desposeídos de los medios de producción. El primer método es la contratación de científicos en compañías en las que los capitalistas poseen los medios de producción. El otro método es más sutil y ocurre en forma natural a medida que las grandes corporaciones se involucran más en los procesos de producción (Kenney, 1982, pp. 14-25).

Las nuevas formas de vinculación entre universidad e industria, han generado también distintas formas de incorporación de los investigadores a las actividades industriales. En Japón, los investigadores universitarios han establecido convenios de colaboración con los investigadores de empresas importantes. En Estados Unidos los investigadores universitarios han establecido pequeñas compañías biotecnológicas, en las que el objetivo fundamental es la rápida aplicación de los descubrimientos científicos por ellos generados en las universidades. En los países europeos tales como Alemania, Suiza y Holanda, ya existía una fuerte tradición de vinculación entre las universidades y las empresas químicas, que recientemente se ha intensificado. Los únicos países en los que dicha vinculación era escasa son Francia y Gran Bretaña, en donde desde la década de los sesenta se empezaron a romper las barreras y a establecer convenios de colaboración con empresas medianas y grandes (Sharp, 1985).

Otro de los aspectos interesantes en el desarrollo de las biotecnologías en el mundo desarrollado es que se trata de un área apoyada tanto por fondos públicos como privados. Los apoyos públicos canalizados a la investigación biotecnológica han permitido el desarrollo de una infraestructura en las universidades. Este tipo de financiamiento se ha derivado, en algunos casos, de planes gubernamentales en biotecnología, y en otros, de acciones más recientes de los gobiernos preocupados por no perder la carrera en estas tecnologías. Así, Ançiaes y Cassiolato (1985) afirman que:

En los EUA, el aumento de gastos públicos para la I & D en el sector salud es el hecho principal que permite explicar el extraordinario avance, a partir de los años 1960, en las ciencias en general y en la microbiología y bioquímica en particular. Tal avance lleva al surgimiento de la denominada nueva biotecnología, especialmente a través de la manipulación genética. Se caracteriza por lo tanto, por una auténtica situación de "science push", en la que los rápidos desarrollos en la biotecnología se dan a través de un enorme incremento del stock de conocimientos ... (Ançiaes y Cassiolato, 1985, p. 83).

En Estados Unidos, el gobierno ha otorgado una gran importancia a la biotecnología, lo que lo llevó a constituir una comisión específica del Congreso encargada de tratar los asuntos relacionados con el desarrollo de esta área. En 1981 la Office of Technology Assessment (OTA), sugiere actuar en áreas de alto riesgo y de resultados a largo plazo, y plantea que para dominar la competitividad internacional en biotecnología debe considerarse el financiamiento en condiciones de incentivo para las empresas, los fondos de financiamiento gubernamental para la investigación básica y aplicada y la capacitación de personal (Ançiaes y Cassiolato, 1985).

A partir de los años setenta, en otros países desarrollados se comienza a planear las formas de intervención pública para disminuir el desequilibrio con el avance estadounidense. Así, surgen documentos nacionales que analizan la biotecnología y proponen mecanismos para la acción gubernamental (Alemania 1974, Inglaterra 1980, Canadá 1980, Francia 1981, Holanda 1981 y Australia 1981). En todos estos países es en la década de los ochenta cuando aumentan los financiamientos públicos para la investigación biotecnológica. Finalmente, en Japón, en donde la preocupación por la biotecnología es más antigua, el Estado ha apoyado fuertemente

la investigación en las universidades desde 1975, y además ha aplicado incentivos fiscales al sector industrial, al que canalizó importantes inversiones durante los años ochenta (Ançiaes y Cassiolato, 1985). Recientemente se instituyó en Japón el Centro para el Desarrollo de la Bioindustria (BIDEC), como un organismo no lucrativo cuya función es asegurar la cooperación entre la industria, la academia y el gobierno (ONUDI, 1990).

En cuanto a los apoyos e inversiones privadas para la biotecnología, los países desarrollados han seguido diferentes patrones, todos ellos estimulados por el interés empresarial en la industria biotecnológica. En el caso de Estados Unidos, el patrón dominante ha sido la formación de un gran número de pequeñas empresas biotecnológicas (*start up companies*), formadas por investigadores y empresarios para comercializar los procesos desarrollados en las universidades (Kenney, 1984). Estas empresas fueron absorbidas posteriormente por grandes empresas químicas y farmacéuticas que han continuado apoyando la investigación básica. En los países europeos y en Japón, las empresas medianas y grandes —principalmente las pertenecientes a los sectores químico y farmacéutico—, han sido las que se han interesado en la industrialización de los procesos y las que han apoyado la investigación universitaria básica y aplicada (Sharp, 1985).

Las grandes empresas que tienen como propósito lograr una mejor posición en el mercado, están siguiendo una estrategia en la que destaca el apoyo a centros académicos de excelencia por medio del financiamiento de la investigación básica, con la garantía de que comercializarán los resultados obtenidos.

Las tendencias en las acciones de apoyo al desarrollo de la investigación biotecnológica y a la industrialización de los procesos, llevan a afirmar que en los países desarrollados se cuenta con una estrategia concertada entre los sectores público y privado que se orienta al logro de la competitividad en el plano internacional y al control de los mercados. Dicha estrategia, que es obvia para países como Estados Unidos y Japón, también empieza a ser delineada en países de la Comunidad Europea y está siendo plasmada en los planteamientos de política en los que se sugieren las orientaciones más prometedoras de la biotecnología para sus mercados. Sin embargo, aun cuando existe una estrategia implícita de concertación entre sector público y privado, en el plano de las empresas existe una fuerte lucha entre los grandes consorcios internacionales por obtener el dominio de los mercados y, por ende, una fuerte competencia por conseguir la capacidad de inves-

tigación más sólida que sustente en el menor tiempo posible la factibilidad de los procesos biotecnológicos.

En cuanto a los patrones de desarrollo de la industria biotecnológica en los países avanzados, existe un conjunto de características generales del surgimiento de este tipo de industrias que se conjugan en diversas formas y que constituyen los patrones que se han seguido en países específicos.

Hay varias características de estas actividades industriales emergentes: la vinculación entre el mundo académico y corporativo, nunca observado previamente y llegando a nuevas dimensiones ...; la emergencia de cientos de pequeñas empresas biotecnológicas, incluyendo vínculos con las ya establecidas empresas transnacionales, involucradas previamente en actividades de I & D en diversas áreas de la biotecnología; las diversas formas que adoptan las actividades internas de las empresas transnacionales en biotecnología; y los aspectos relativos a las políticas gubernamentales hacia las actividades de I & D en biotecnología incluyendo el hecho de que muchos de los desarrollos iniciales de estas tecnologías se realizaron a través de la investigación académica pública, sobre la cual la industria se construyó, además de otras formas de riesgos cambiantes ... (Morehouse y Dembo, 1984, p. 11).

Al conjugarse en formas diferentes, los elementos anteriores han dado origen a los patrones de desarrollo industrial de la biotecnología. Es importante contrastar los patrones de desarrollo industrial biotecnológico seguidos por Estados Unidos y Japón, que aunque también se han dado en alguna medida en algunos países europeos, contienen los elementos fundamentales de las formas de surgimiento de la industria biotecnológica actual. El trabajo de Kenney sobre este aspecto constituye la principal fuente de apoyo para caracterizar dichos patrones (Kenney, 1982, 1984, 1986).

Kenney considera que el análisis de la industria biotecnológica en estos dos países debe observar tres instancias fundamentales: la universidad, el gobierno y la industria. El tipo de organizaciones industriales involucradas en la industria biotecnológica es el de las pequeñas firmas financiadas con capital de riesgo (NBFs), las grandes empresas estadounidenses químico-farmacéuticas y las empresas japonesas ya establecidas que invierten en biotecnología (Kenney, 1984).²

² A su vez, cada uno de estos tipos de organización se subdivide en diversas categorías que pueden ser consultadas en: Morehouse y Dembo (1984), *Transnational corporations in biotechnology*, informe de consultores de UN/CTC United Nations Centre on Transnational Corporations, Nueva York.

De acuerdo con Kenney, para el caso norteamericano en el período de la precomercialización, como reacción al estancamiento de fondos para la investigación, los administradores universitarios comenzaron a actuar como intermediarios entre las grandes empresas y los profesores universitarios. Posteriormente, se comenzó a crear pequeñas empresas biotecnológicas (*start ups*), que reproducen el ambiente de la investigación universitaria y que son las primeras en comercializar los procesos biotecnológicos. Los mercados potenciales de la biotecnología atraen el interés de las corporaciones multinacionales químico-farmacéuticas de Estados Unidos que acuden a las universidades y a las NBFs, para asegurar su estado del arte en la investigación. Ante esta situación, dichas corporaciones construyen su infraestructura interna de investigación. Esto lleva a definir el patrón de la industria biotecnológica que existe actualmente en Estados Unidos.

La empresa biotecnológica estadounidense está dividida entre dos muy diferentes tipos de compañías. Por un lado, las NBFs (nuevas empresas biotecnológicas), que surgieron del medio ambiente rico en conocimientos de las universidades ... Por otro lado ... las grandes empresas establecidas ... que han enfatizado la secrecía de la investigación y que tienen conexiones con las universidades, especialmente en las ciencias biológicas básicas en las que aquéllas permanecen débiles ... Estas empresas están invirtiendo grandes sumas para remediar este problema ... La respuesta que estas empresas han formulado ante su falta de habilidad para realizar suficiente investigación innovativa es ya sea contratar a pequeñas empresas que las provean de información o bien comprar los derechos de las pequeñas empresas para asegurar el acceso a sus investigadores (Kenney, 1984, p. 15).

En contraste con este patrón, el desarrollo de la industria biotecnológica japonesa ha manifestado distintas tendencias. La capacidad de investigación en Japón hasta 1981 estuvo orientada a la bioingeniería y los procesos de fermentación y recuperación. La investigación básica en biología y biología molecular era débil hasta principios de la presente década (Kenney, 1984; Sharp, 1985). Sin embargo, el gobierno, a través del Ministerio de Industria y Tecnología (MITI), ha dado un fuerte apoyo a la constitución de la industria biotecnológica, no a través de pequeñas empresas al estilo norteamericano, sino mediante la organización de un conjunto integrado de compañías que investigan diversos tópicos

y que promueven el aspecto de la competencia en un sentido positivo. De acuerdo con Kenney, este patrón de organización es el mismo que ya se ha aplicado con éxito en otras industrias tales como la de semiconductores y la de computadoras. El éxito japonés en biotecnología se debe entonces a un conjunto de factores que conjugados entre sí, han posibilitado que este país se coloque junto a Estados Unidos a la cabeza del desarrollo biotecnológico. Dichos factores son: la fortaleza previa en fermentaciones, la política gubernamental de promoción industrial, un sistema basado en el empleo vitalicio (*lifetime employment*), un sistema universitario que produce el personal y el conocimiento requeridos y un ambiente que estimula el flujo de información (Kenney, 1984).

Entre estos dos patrones de desarrollo de la industria biotecnológica surge una gran gama de desarrollos en los países europeos. Algunos de ellos, como en el caso de Gran Bretaña, se han basado en su capacidad de investigación en ingeniería genética y en sus grandes empresas químicas y farmacéuticas. En el caso de Alemania, que ocupó el liderazgo en desarrollo biotecnológico en Europa, se manifiesta un temprano interés por las técnicas de inmovilización de enzimas y el desarrollo de biorreactores. El apoyo a la biotecnología en este país procede de las grandes firmas y del gobierno. Otros países como Francia, con un fuerte apoyo gubernamental, basan su desarrollo industrial biotecnológico principalmente en empresas medianas y no cuenta con un mercado de capital de riesgo. Actualmente existen en este país varias pequeñas empresas biotecnológicas, que son dependientes de grandes empresas o de grandes institutos de investigación. Del análisis detallado de las características y patrones de la industria biotecnológica en diferentes países europeos, Sharp concluye que:

La observación más común respecto al desarrollo de la biotecnología en Europa se refiere a la casi completa ausencia de la pequeña liga de nuevas empresas biotecnológicas, que son un logro de los desarrollos estadounidenses. Esto por lo tanto hace que el papel de la liga de las empresas medianas sea el más importante, y es este sector, más que el sector de las pequeñas empresas, el que está proveyendo los grandes cambios a la liga de las grandes empresas ... A pesar de que existe una gran y potencial liga intermedia que agrupa a las empresas biotecnológicas en Europa, por el momento los adelantos están realmente siendo dados por la liga de las grandes empresas (Sharp, 1985, pp. 107-109)

Tal como sostiene Sharp en otra parte de su estudio, el patrón seguido por algunos países europeos, entre otros Alemania y Gran Bretaña, se parece más al seguido en Japón y sustentado en las grandes empresas del sector químico y farmacéutico. No obstante, según la misma autora, en relación con la base de investigación en la que se sustenta la industria biotecnológica en los países europeos, no puede establecerse una generalización, ya que para países como Alemania y Holanda la nueva biotecnología se apoya en la experiencia previa en fermentaciones e ingeniería bioquímica, en tanto que para Gran Bretaña, los desarrollos en biología molecular que se gestaron desde la década de los cincuenta, fueron la base importante para los desarrollos de la nueva biotecnología en la década actual.

Finalmente, es importante mencionar que las grandes empresas químicas y farmacéuticas que dominan los mercados y que prevén que los cambios más importantes en el futuro serán en el sector agrícola, han emprendido una estrategia para asegurar ese dominio y han adquirido empresas semilleras, con lo cual obtienen el control total de los mercados.

Paralelamente a esta tendencia, recientemente algunas de las más exitosas empresas biotecnológicas fundadas en los años setenta están perdiendo su independencia y están siendo adquiridas por otros consorcios transnacionales. Así, la empresa norteamericana Genentech, una de las más grandes y exitosas empresas biotecnológicas, es actualmente controlada por la farmacéutica suiza Hoffmann-La Roche, la cual ha adquirido 60% de sus acciones (Junne, 1990). Esta situación es un indicador de las dificultades que existen a nivel internacional para consolidar las empresas y los mercados en el campo biotecnológico y de alguna manera refleja también que la bioindustria requiere de inversiones muy altas que difícilmente pueden ser alcanzadas por una empresa independiente. La tendencia, tal como lo afirma Junne (1990), es realizar convenios de cooperación entre diversas empresas transnacionales fuertes, para asegurar las inversiones y los mercados.

El desarrollo biotecnológico en los países avanzados ha producido un cambio en la propiedad de las capacidades tecnológicas, el cual ha acentuado la privatización de la biotecnología. Al respecto, Buttell *et al.* (1985) afirman que la constitución de las corporaciones biotecnológicas y la explotación comercial de estas nuevas tecnologías han estado determinadas fundamentalmente por intereses empresariales, por lo que los impactos socioeconómicos de estas tecnologías dependerán de su importancia comercial y no de su relevancia social.

La primera variedad de cultivo de campo genéticamente modificado que será comercializado consistirá en tipos de variedades resistentes a varios herbicidas. La razón del mejoramiento genético para obtener resistencia a herbicidas está íntimamente vinculada a los importantes intereses económicos que tienen las empresas químicas en la comercialización de sus herbicidas. Esta estrategia, si resulta exitosa, llevará a un incremento en el empleo de herbicidas comerciales y a una mayor dependencia de los proveedores de agroquímicos (Buttel *et al.*, 1985, p. 39).

En los últimos años, esta tendencia en la investigación en biotecnología agrícola hacia variedades de cultivos que hagan más efectivo el uso de insumos agrícolas, se ha extendido a variedades de maíz en las que se busca el logro de una mayor resistencia a herbicidas (ONUDI, 1990: 42). Sin embargo, estas tendencias coexisten con otras que aplican los desarrollos biotecnológicos a los cultivos básicos para lograr objetivos de interés con miras a elevar su productividad en las condiciones que prevelcen en los países en vías de desarrollo (*Biotechnology and Development Monitor*, 1989 y 1990)

El carácter privado de la biotecnología en los países desarrollados se ha agudizado, fundamentalmente con respecto a sus aplicaciones en la agricultura, situación que según Buttel *et al.* (1985) se explica por diversas razones. En primer lugar, la hegemonía que existía en la investigación agrícola en Estados Unidos, de parte de las universidades agrícolas (*land-grant*) financiadas públicamente, está cambiando. Actualmente las corporaciones están contratando a las universidades privadas que se encuentran fuera de la comunidad tradicional de investigación agrícola. En segundo lugar, la austeridad fiscal ha limitado los programas de mejoramiento de plantas y los desarrollos biotecnológicos en las universidades que dependen de los fondos gubernamentales. Y, finalmente, la decisión de la Suprema Corte de Estados Unidos, que permite patentar las formas de vida genéticamente modificadas, ha incrementado el interés de las empresas privadas por el mejoramiento de plantas, tanto por técnicas convencionales como mediante formas biotecnológicas (Buttel *et al.*, 1985).

Este carácter de privatización al que están llevando las nuevas formas de desarrollo e industrialización de los procesos biotecnológicos, tiene aspectos negativos no solamente para los países desarrollados sino, más aún, para los países subdesarrollados. En este apartado se hará referencia solamente a las primeras conse-

cuencias, dejando para la próxima sección el tratamiento de las segundas.

La privatización implica que las tecnologías desarrolladas no serán públicamente accesibles, sino que serán vendidas o comercializadas por las grandes empresas que poseen las patentes, por lo que el beneficio social que de ellas se derive estará orientado solamente a ciertos sectores de la sociedad. Esta característica ha provocado reacciones en los países desarrollados, que se oponen a la privatización de los organismos vivos, especialmente los pequeños agricultores, los consumidores y el público en general.

En el mundo desarrollado los efectos de la privatización son de diversa índole: refuerza la tendencia hacia la integración vertical de las empresas; fortalece la creciente concentración de la producción y de la comercialización de semillas así como la capacidad de crear futuros avances en nuevas variedades, en un muy limitado número de empresas; disminuye el rango de opciones para los consumidores de estos productos y crea condiciones oligopólicas de mercado. Además, genera tensiones en las relaciones entre las universidades y la industria, ya que decrece el flujo de información entre los científicos y genera conflictos en cuanto a la propiedad de los resultados (Morehouse y Dembo, 1984).

La prevalencia de estos impactos negativos lleva a considerar, al igual que lo han hecho otros autores (Kenney, 1982; Buttel *et al.* 1985; Morehouse y Dembo, 1984), que las biotecnologías no son neutrales en forma alguna. Los conocimientos generados en los centros universitarios, y la decisión de impulsarlos y llevarlos a su aplicación industrial están determinados desde su inicio por intereses comerciales específicos. Aun cuando la biotecnología ofrece muy interesantes potencialidades para el desarrollo socioeconómico de los países, los intereses finales que están guiando su desarrollo en los países industrializados no se orientan a la satisfacción de necesidades sociales de estos últimos. Los criterios que prevalecen en el desarrollo de estas tecnologías son el incremento de la productividad y la rentabilidad económica, como requisitos para preservar la competitividad de los productos biotecnológicos en los mercados internacionales.

1.2 La relevancia de la biotecnología para los países del Tercer Mundo

La discusión sobre la relevancia social de la biotecnología surge cuando se observa el conjunto de sectores que están siendo y serán

afectados por los desarrollos biotecnológicos tanto en el mediano como en el largo plazo. La agricultura, la salud, la alimentación y la energía, están todas relacionadas con el bienestar humano, por lo que una conclusión muy simplista sería que la biotecnología *per se* es socialmente relevante. Pero tal como se ha visto en el apartado anterior, estas tecnologías no constituyen un campo neutral y sus implicaciones sociales dependerán de los enfoques, procesos y productos que de ella se deriven.

La cuestión de la relevancia social de la biotecnología ha sido muy discutida al tratar de detectar las oportunidades que ofrece a los países subdesarrollados, así como sus implicaciones socioeconómicas. En los últimos años se ha venido argumentando, en diferentes foros internacionales, que una de las vías de solución para los problemas que aquejan al Tercer Mundo está en las nuevas técnicas biotecnológicas y en su adecuación a los diferentes problemas característicos de las regiones que conforman el mundo subdesarrollado. Estas discusiones han generado diversos planteamientos para gestar una biotecnología acorde con las necesidades de los países en desarrollo. Al respecto se han sugerido diversas estrategias: *a*) políticas de ayuda por parte de los países avanzados mediante el desarrollo de biotecnologías apropiadas para el Tercer Mundo; *b*) políticas por parte de los países subdesarrollados para generar su propia capacidad de investigación y decidir acerca de sus prioridades, y *c*) estrategias orientadas a inducir una política científica agresiva mediante inversiones del Tercer Mundo en las empresas biotecnológicas del Primer Mundo, así como en el financiamiento de laboratorios de investigación en los países desarrollados que se involucren en investigaciones de relevancia económica para el Tercer Mundo. Se ha planteado inclusive que los servicios de la deuda que los países latinoamericanos pagan a los acreedores se inviertan en el establecimiento de tecnologías de punta en el Primer Mundo y que a cambio de esto los países deudores tengan acceso a esas investigaciones de frontera (Goldstein, 1989).

La importancia de la biotecnología para el mundo subdesarrollado ha sido permanentemente discutida en diversos foros internacionales en el mundo desarrollado.³ Este tema ha constituido una de las prioridades de investigación del subprograma en Bio-

³ En este apartado se hará referencia exclusivamente a los planteamientos generales elaborados por organizaciones internacionales sobre la importancia de la biotecnología para el Tercer Mundo. Posteriormente y ya en la parte correspondiente al análisis de las políticas biotecnológicas en México (capítulo 6), se detallarán las propuestas y acciones de estos organismos para el caso mexicano.

sociedad del Programa FAST, financiado por la Comunidad Europea y realizado en los primeros años de la década de los ochenta. La discusión ha sido también considerada por la ONUDI, organización que ha realizado diversos estudios sobre el estado del arte de la biotecnología en los países en desarrollo. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha manifestado también su preocupación por el tema, para lo cual organizó en 1983 una reunión sobre "Problemas para el desarrollo de una biotecnología autónoma para América Latina" (OPS-OMS, 1983). Asimismo, cabe mencionar que el National Research Council de la National Academy of Sciences de Estados Unidos, efectuó una reunión en 1982 sobre las prioridades en la investigación biotecnológica para el desarrollo internacional. En este encuentro se afirmó que:

La biotecnología es una tecnología muy apropiada para resolver los problemas que afectan a la población en todos los niveles de desarrollo ... otras revoluciones recientes, tales como la microelectrónica ... parecen haber tenido un impacto relativamente pequeño en el mundo en desarrollo porque ellas no han ido al centro de las necesidades básicas de la vida ... A pesar de que en los últimos años muchas de las aplicaciones de la biotecnología se han centrado en las necesidades del mundo desarrollado, las necesidades más urgentes yacen en el mundo en desarrollo (Baltimore, 1982, pp. 30-36).

En relación con estas afirmaciones es necesario señalar que, aun cuando la biotecnología parece ser en principio un área muy adecuada a los problemas básicos del mundo subdesarrollado, su utilización y su consecuente impacto social dependen de un conjunto muy amplio y complejo de factores económicos y políticos, que son los que en última instancia definirán los tipos de desarrollos biotecnológicos que se industrializarán y se comercializarán.

El programa FAST en biosociedad hace referencia a la importancia de la investigación biotecnológica para la agricultura de los países en desarrollo, poniendo énfasis en que la mayor parte de los 50 cultivos alimentarios de los que depende el mundo tienen sus orígenes en esas regiones (FAST, 1980). En el informe final del Programa FAST (1982) se sostiene que el mundo desarrollado debería buscar asociarse con el Tercer Mundo en la difusión y desarrollo de la biotecnología. Este informe sugiere también que las prioridades de investigación en los países en desarrollo deberían concentrarse en tres grandes áreas: cultivos alimenticios,

productos proteicos de origen animal y productos forestales. Asimismo, en este informe destaca que el desarrollo de la biotecnología en el Tercer Mundo debería basarse en un aparato institucional que permitiera relacionar a las universidades con el sector gubernamental y con los medios rurales locales. Además, se sostiene que es necesario generar mecanismos para vincular el sistema de los Centros de Investigación Agrícola Internacionales (IARCs) con los Centros de Recursos Microbiológicos (MIRCENS), que son esencialmente bancos de microorganismos localizados en varios países y que pertenecen a una red establecida por PNUMA-UNESCO-ICRO (FAST, 1982).

Las propuestas planteadas por el programa FAST pretenden contribuir a orientar el desarrollo biotecnológico hacia las necesidades sociales de los países en desarrollo. Sin embargo, los campos de investigación que propone como prioritarios son aún demasiado generales como para prever sus efectos sociales. El planteamiento para la creación de un aparato institucional que integre a los diversos centros pertenecientes al IARCs, no resolverá el aislamiento de la investigación agrícola de los países en desarrollo. Esto se debe a que en varios países del Tercer Mundo, y México es uno de los casos en el que actúa uno de estos centros (CIMMYT), tales institutos o centros no tienen vinculaciones estrechas con el sistema de investigación agrícola nacional que es el que, en última instancia, tiene la responsabilidad nacional en esta área de investigación.

Además, es necesario tener en cuenta las tendencias de la investigación de los IARCs y sus efectos en la agricultura de los países en desarrollo. Por ejemplo, en México el CIMMYT ha basado su investigación en la generación de híbridos, que como se ha demostrado en la experiencia de todos estos años, no son apropiados para las condiciones de las tierras de los pequeños agricultores. Los híbridos implican costosos insumos agrícolas, sistemas de irrigación y maquinaria que no son accesibles a estos agricultores. Tal como lo establecen Buttel *et al.* (1985), se hace necesario un cambio en las orientaciones de la investigación de los IARCs y un giro hacia las necesidades de los pequeños agricultores del Tercer Mundo. Dado que los centros internacionales de investigación agrícola en general no guardan estrecha relación con los centros nacionales de investigación, parece difícil prever que los países en desarrollo se beneficien de los contactos que logren establecer los IARCs con otros centros internacionales, puesto que los sistemas científicos locales no están integrados a esa esfera.

Otra de las organizaciones internacionales preocupadas por el futuro de la biotecnología en el Tercer Mundo es la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la cual, desde 1981 empezó a realizar acciones para crear un Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (ICGEB) que pudiera integrar las potencialidades de estas prometedoras áreas de investigación.

El ICGEB debe proveer de facilidades que estimulen la fertilización cruzada entre el conocimiento avanzado por un lado, y las necesidades y recursos por otro, y permitir así la expresión de la creatividad nativa (ONUDI, 1981, p. 8)

La creación de este Centro fue aprobada en 1985. Su objetivo general es establecer la cooperación internacional entre el mundo desarrollado y el subdesarrollado. Los objetivos particulares son el entrenamiento de personal y la promoción industrial, mediante la sensibilización de las industrias de los países en desarrollo respecto de la necesidad de productos derivados de la ingeniería genética y de competir en los mercados mundiales (ONUDI, 1987).

El ICGEB aún está siendo establecido y sus áreas y programas están siendo definidas. Este centro funciona como una organización intergubernamental autónoma, constituida por 41 países, de los cuales solamente 18 han ratificado su estatus en esa organización, requiriéndose de 24 ratificaciones para garantizar su funcionamiento. Varios países industrializados no han ratificado su pertenencia a este centro y están muy reticentes de hacerlo ya que no quieren comprometerse a ser los principales financiadores del propio centro. Además de estos problemas, se han suscitado diferencias respecto de las opciones financieras y políticas a elegir entre los científicos y los políticos que manejan esa institución (De Groot, 1990). El lugar en el que debería establecerse la sede del ICGEB—un país desarrollado o uno del Tercer Mundo—, dio lugar a largas y complicadas discusiones y finalmente se acordó la creación de dos sedes. Una de ellas ubicada en Trieste, Italia, que ya cuenta con instalaciones en funcionamiento desde el verano de 1987 y cuya investigación se centra en tres áreas fundamentales: ADN-r, virología y conversión de biomasa. En este centro se organiza un grupo con un enfoque microbiológico, que incluye fermentaciones, bioquímica y genética para la investigación sobre degradación de residuos lignocelulósicos, que son considerados

como una nueva fuente para la alimentación humana y animal (ONUDI, 1987).

La otra sede, ubicada en Nueva Delhi, India, aún está en formación, con facilidades de infraestructura ofrecidas por el National Institute of Immunology y la Universidad de Jawaharlal Nehru. Sus áreas de investigación estarán más orientadas a la agricultura en aspectos de fijación de nitrógeno, resistencia a herbicidas y pesticidas de variedades de alto rendimiento (HYV) y mejoramiento proteico del amaranto⁴ (*Amaranthus*), considerado como un cultivo de importancia en los países en desarrollo por su alto contenido proteico. En el área de salud, la investigación se orientará a la producción de vacunas contra la malaria y la hepatitis (ONUDI, 1987). En 1990 esta sede recibió más de 3 millones de dólares de Wockhardt Ltd., la firma farmacéutica establecida en Bombay, para realizar investigación sobre insulina, un activador de cultivos plasminógenos y la vacuna contra la hepatitis (ONUDI, 1990).

Este centro representa una oportunidad interesante para los biotecnólogos del Tercer Mundo, ya que constituye un ámbito en el que se podrán especializar recursos humanos y podrán intercambiar experiencias con biotecnólogos de todo el mundo. Sin embargo, se percibe que algunas de las líneas de investigación a las que se orientará, reproducirán las tendencias actuales de la investigación en el mundo desarrollado. Esto podría ejemplificarse con la investigación de variedades de alto rendimiento para su resistencia a herbicidas y pesticidas. De no ser por la propuesta para el estudio del amaranto, no se observa interés por el estudio de los cultivos básicos que resulten relevantes para el Tercer Mundo. Lo que queda aún por saber es si las orientaciones de este centro darán prioridad a los problemas que resultan relevantes para los países en desarrollo o si, por el contrario, sus líneas de investigación se volcarán hacia las tendencias de la investigación en el mundo desarrollado. Esta última podría ser una condición de los países industrializados para ratificar su estatus en este organismo y hacer efectiva su aportación.

⁴ El amaranto es una planta herbácea cuyas hojas y semillas eran empleadas en la alimentación de las culturas prehispánicas en México. El cultivo del amaranto está actualmente restringido a unas cuantas zonas del centro de México. Su contenido proteico es más elevado que el del trigo, maíz y cebada, por lo que el incremento de este cultivo en los países en desarrollo representa una fuente importante para mejorar la dieta de estas poblaciones. Además, mediante la aplicación de la ingeniería genética, sería posible en el futuro implantar las características genéticas del amaranto a otros cultivos básicos e incrementar así su contenido de proteínas.

La relevancia de la biotecnología para el Tercer Mundo es un tema continuamente discutido por académicos tanto del mundo desarrollado como de los países en desarrollo. En tales discusiones se ha tratado de definir los impactos potenciales de la biotecnología para el Tercer Mundo, fundamentalmente sobre aspectos tales como la agricultura, la salud y el medio ambiente. Algunos autores (Logan *et al.*, 1987) parten de la argumentación de que mediante la comprensión de las bases genéticas de los mecanismos de defensa de las plantas y animales, los científicos podrán manipular los que resulten benéficos para la agricultura. Entre otros, se sugieren elementos tales como resistencia al estrés ambiental o biológico, resistencia a insectos, disminución de la resistencia que desarrollan los insectos a los pesticidas, control de enfermedades, tolerancia de las plantas a pesticidas y herbicidas, fijación biológica del nitrógeno y la inserción de genes para crear diversas resistencias en las plantas.

A pesar de que en los últimos años se han realizado importantes avances, la mayoría de las aplicaciones aún están en el terreno de lo potencial y sus efectos se observarán en plazos muy diversos. Hasta ahora, los científicos trabajan con un solo gene a la vez, aunque se espera que en el futuro se logre trabajar con varios simultáneamente. Esta limitación es importante, ya que algunas de las características de interés para la agricultura no se logran con el control de un solo gene, sino que implican la manipulación de varios genes simultáneamente (Logan *et al.*, 1987).

Las repercusiones o efectos de las aplicaciones de la biotecnología sobre los agricultores y la población, serán de muy diversa índole dependiendo de las prioridades seleccionadas. Algunas de estas aplicaciones tenderán a intensificar el patrón agrícola existente basado en la generación de híbridos, en la aplicación de insumos agrícolas y en la utilización de tierras aptas para la agricultura. Otras aplicaciones, de llevarse a cabo, tenderían a crear un nuevo patrón agrícola en el que el aumento de la productividad se basaría en variedades reproductivamente estables —y no en híbridos— no dependientes de insumos costosos, y que posibilitaría la agricultura en regiones en las que hasta ahora no se ha desarrollado. Este nuevo patrón se orientaría a los pequeños agricultores con escasos recursos económicos. Es esta segunda alternativa la que resulta de interés para el mundo en desarrollo y la que debería orientar prioritariamente la biotecnología para estos países, dadas las condiciones económicas, tecnológicas y sociales que prevalecen en ellos.

Desde mediados de la década pasada se han generado diversos análisis sobre el tipo de biotecnologías que tendrían efectos importantes en el Tercer Mundo. Algunos de estos análisis sustentan que en la biotecnología los avances no son parejos para todas las áreas, lo que implica que la brecha que existe entre el impacto comercial potencial y el probado no es la misma para todas las tecnologías (Goodman, 1984). Debe distinguirse, por lo tanto, entre las innovaciones con impactos en el corto plazo y aquellas cuya difusión sólo se dará en el largo plazo. Así, el plazo para las aplicaciones de biotecnologías tales como cultivo de células y tejidos vegetales, ingeniería genética de plantas, fijación biológica del nitrógeno, recursos de biomasa como combustibles, proteínas unicelulares y sustitutos alimenticios, no será el mismo, aunque Goodman afirma que la mayoría de estas aplicaciones se ubican más allá del corto plazo.

Por su parte, un grupo de académicos reunidos en 1982 (Van Hemert *et al.*, 1982), planteó que la biotecnología podría contribuir considerablemente al desarrollo del Tercer Mundo, particularmente mediante la producción de alimentos para consumo humano y animal, la producción de insecticidas microbianos, la fijación biológica del nitrógeno, el tratamiento de desechos y el mejoramiento de cultivos. Estas áreas de aplicación posibilitarían generar nuevos productos diferentes a los convencionales y ampliar así el espectro de utilización de los recursos naturales.

Más recientemente Sasson (1986) señala que existen varias ventajas que los países del Tercer Mundo deben explotar para sus propios intereses. Estos países, sostiene el autor, deben considerar como un área importante la biotecnología aplicada a las plantas, principalmente el cultivo de células vegetales para la producción de metabolitos secundarios. Asimismo, Sasson afirma que la biotecnología no se limita solamente a la aplicación de técnicas de recombinación genética, sino que comprende un gran número de procesos para la explotación de recursos microbianos. Muchos países en desarrollo poseen ya experiencias prácticas que deben ser perfeccionadas y que pueden tener mayor importancia que la ingeniería genética misma. Se trata de las técnicas de fermentación en medio líquido y sólido, el reciclaje de desechos, la producción de gas metano, la descomposición de la biomasa lignocelulósica y la transformación de combustibles (Sasson, 1986).

También se ha argumentado sobre las contribuciones que la biotecnología puede ofrecer para la conservación y la utilización

sostenida de la diversidad biológica, sobre todo por lo que se refiere a los países en desarrollo. Gidding y Persley (1990) sostienen que la biotecnología puede contribuir con diversas técnicas a la conservación *ex situ* e *in situ* tanto de plantas como animales, y con ello a la biodiversidad tan amenazada actualmente en el mundo en desarrollo. Es decir que la biotecnología, tal como lo sostiene Soares de Assis (1991), se constituye en un elemento potenciador de los recursos naturales de la diversidad biológica. Esta es una fase de aplicación de la biotecnología de gran relevancia para los países en desarrollo, tan amenazados en su diversidad genética no solamente por el manejo inadecuado de sus recursos, sino además por las repercusiones que sobre éstos ejerce la aplicación de las tecnologías transferidas a estos países.

De los planteamientos expresados en los párrafos anteriores se deduce que en el plano de las argumentaciones generales, la biotecnología parece ofrecer opciones interesantes para los países en desarrollo. Sin embargo, el carácter relevante de la biotecnología para el Tercer Mundo dependerá de diversos factores, primordialmente la detección de los problemas específicos que requieren de estas tecnologías, la naturaleza de los recursos naturales disponibles, así como las características de la infraestructura científico-técnica existente.

Además de los planteamientos que resaltan las ventajas potenciales de la biotecnología para el Tercer Mundo y que en cierta forma adoptan una posición a favor del desarrollo de este campo en esos países, en los últimos años se han producido análisis que advierten sobre los efectos socioeconómicos de carácter negativo en el Tercer Mundo, a partir de la aplicación de las biotecnologías. Algunos de estos efectos se derivan precisamente de las tendencias que está siguiendo la biotecnología en el mundo desarrollado y que serán difíciles de revertir al incorporarse al mundo en desarrollo. Otros impactos se refieren a las repercusiones de la biotecnología sobre los sectores agrícolas del Tercer Mundo, y que se prevén al considerar las experiencias previas en la aplicación de tecnologías agrícolas, concretamente la experiencia derivada de la revolución verde. Otro conjunto de efectos de orden socioeconómico se empieza a manifestar en aspectos tales como el empleo, los ingresos y la propiedad agrícola. Finalmente, la aplicación de las técnicas biotecnológicas plantea también impactos generadores de una mayor dependencia económica para los países en desarrollo.

Dada la gran variedad de argumentos que se han generado en torno a los efectos negativos, se ha considerado importante siste-

matizar estos planteamientos para dar cuenta de los aspectos considerados, así como de las bases que los sustentan. Existe una tendencia a elaborar argumentaciones en torno a los impactos negativos de la biotecnología, mediante la extrapolación de las tendencias actuales de la biotecnología en los países desarrollados, y en otros casos a partir de una extrapolación de los efectos que han producido las tecnologías derivadas de la revolución verde. Cabe mencionar que para el caso de la tecnología derivada de la revolución verde, los efectos fueron claramente identificados y ocasionados por el paquete tecnológico que implicó esa revolución. Sin embargo, cabe plantear aquí, que el espectro de aplicaciones potenciales de las biotecnologías es muy amplio, y la naturaleza de los impactos dependerá del tipo de tecnologías generadas. En la actualidad observamos diversas tendencias en el desarrollo de las biotecnologías que generarán efectos también diferentes y a veces contradictorios entre sí. Así, en relación con el sector agroindustrial se observan tendencias hacia la sustitución y nuevos usos de cultivos; hacia la optimización en el uso de insumos agrícolas, así como hacia el mejoramiento de técnicas tradicionales por medio de la biotecnología. Cada una de esas orientaciones generará impactos socioeconómicos diferentes, entre los cuales podrían preverse impactos positivos de grandes repercusiones sociales para el mundo en desarrollo. Sin embargo, estos efectos positivos sólo adquirirán relevancia si los países del Tercer Mundo logran el control en el desarrollo y aplicación de la biotecnología, así como de sus recursos naturales.

La tendencia predominante en los países desarrollados hacia la privatización de la biotecnología plantea importantes repercusiones negativas para los países en desarrollo entre los que Dembo *et al.* (1985) señala los siguientes como los más trascendentes: *a*) determinación de las prioridades de investigación por el potencial comercial de los productos y procesos y por el tamaño de los mercados, lo que implica que las necesidades del Tercer Mundo sólo serán consideradas si se visualizan ganancias importantes para los inversionistas; *b*) incremento en la secrecía de la investigación biotecnológica; *c*) la tecnología será sólo accesible al Tercer Mundo a muy altos costos; *d*) impactos negativos en el medio ambiente, debido a la falta de legislación al respecto, situación que se acentuará en el Tercer Mundo, ya que cuenta con una legislación endeble; *e*) impactos negativos en los valores sociales y los estilos de vida, tanto de la población en general, como de las comunidades científicas en particular; *f*) exacerbación del patrón desigual de

distribución del ingreso y pauperización de la población; *g*) efectos negativos sobre las instituciones del sector público; *h*) las corporaciones transnacionales se convertirán en las principales introductoras de estas tecnologías en el Tercer Mundo, e *i*) la privatización resultará en una limitante para la cooperación internacional en biotecnología, ya que este factor se constituye en el gran rival de las transnacionales. Todos estos factores tendrán como última consecuencia la acentuación del patrón de dependencia tecnológica en el Tercer Mundo.

El proceso de privatización es lo que diferencia a la biotecnología de las tecnologías derivadas de la revolución verde. Buttell *et al.* (1985) establecen que dicha revolución fue puesta en marcha en el marco de instituciones públicas y cuasi públicas que operaban directamente en el Tercer Mundo. El carácter netamente privado de la biotecnología producirá efectos negativos sobre esta región:

La biotecnología aparecerá como una promotora, no de la disminución sino del reforzamiento de la brecha científica y tecnológica entre los países menos desarrollados y las naciones industriales ... La biotecnología entonces promete exacerbar lo que ha sido el mayor punto de contención en el debate Norte-Sur: el problema del patentamiento y el libre flujo de información científica y técnica (Buttell *et al.*, 1985, p. 43).

Este carácter privado de la biotecnología no sólo limitará el libre acceso al conocimiento de procesos y productos generados por ella, sino que sus repercusiones socioeconómicas serán aún más agudas y atentarán contra el libre acceso de los países en desarrollo a sus propios recursos naturales y a la posibilidad de controlar sus recursos fitogenéticos. Este problema ha sido planteado por Sasson, quien argumenta que la situación tiende a agudizarse:

... por las prácticas restrictivas en materia de distribución de material genético y las dificultades para llegar a un acuerdo internacional que considere los recursos genéticos como parte del patrimonio de la humanidad y que asegure su utilización igualitaria. Los países industrializados se oponen a este acuerdo internacional (Sasson, 1986, pp. 167-169).

Este carácter predominantemente privado de la biotecnología está cambiando la estructura de la investigación agrícola interna-

cional, que está comenzando a adoptar características diferentes a las de la revolución verde. Dichos cambios también se experimentarán en el Tercer Mundo, cuyos sectores agrícolas resentirán importantes consecuencias. Entre éstas, la aplicación de tecnologías tales como la selección de clones de alto rendimiento, o la propagación vegetativa *in vitro* de cultivares, reforzarán muy probablemente la gran propiedad agrícola, en vez de mejorar las condiciones de los pequeños agricultores. Esta situación se explica por el hecho de que son los grandes propietarios agrícolas quienes poseen las técnicas de gestión, los medios financieros y la experiencia de comercialización que les permitirá sacar rápido provecho de las nuevas aplicaciones tecnológicas (Sasson, 1986).

Existen planteamientos sobre los efectos negativos de la biotecnología que se derivan de las consecuencias que se están ya experimentando por la comercialización de los procesos biotecnológicos tales como los nuevos edulcorantes y la aplicación de las técnicas de cultivo de tejidos vegetales. De estas experiencias, Hobbelink y Ruivenkamp deducen las siguientes consecuencias:

a) el desarrollo de enzimas más eficientes ha hecho posible extraer edulcorantes de un mayor número de cultivos agrícolas, lo que ha originado una creciente intercambiabilidad de materias primas. Esto traerá como consecuencia una nueva organización de la cadena alimenticia, que incluye actualmente desde la fase agrícola hasta el consumo.

b) La tendencia hacia la producción de plantas resistentes a herbicidas tendrá como consecuencia la (bio)quimización de la agricultura.

c) Los avances en la producción de células fermentativas y el cultivo de tejidos, harán posible la producción de sustancias vegetales en fábricas sin requerirse de tierras agrícolas. Esto traerá aparejados cambios en las formas de propiedad rural y en las formas de control sobre la producción alimentaria.

d) Finalmente, los precios de las materias primas tradicionalmente suministradas por el Tercer Mundo tenderán a caer, ya que o bien éstas serán sustituidas o bien serán producidas directamente en los centros industriales de los países desarrollados (Hobbelink y Ruivenkamp, 1986, pp. 18-19).

Además de lo anterior se argumenta también sobre consecuencias importantes en el empleo y los ingresos. El remplazo de cultivos tradicionales por nuevas variedades causará el desempleo de mano de obra agrícola, tal como ya ocurre con el remplazo en Costa Rica del cultivo de banano por el de palma de aceite (Sasson, 1986).

Asimismo se sostiene que dadas las tendencias de la biotecnología, se provocará una creciente concentración del sector agroindustrial y un posterior debilitamiento del poder de los gobiernos del Tercer Mundo para negociar en el ámbito internacional (Hobbelink y Ruivenkamp, 1986). También se afirma que el desarrollo y la extensión de un sistema mundial de biotecnología lleva el riesgo de establecer nuevos lazos de dependencia tecnológica que se intensificarán con el comercio mundial de semillas y de nuevos productos agroquímicos controlados por las empresas transnacionales (Vergopolous, 1987).

La discusión sobre los efectos de la biotecnología en el Tercer Mundo ha considerado también otros aspectos que se derivan tanto de los avances en las experimentaciones y aplicaciones de productos biotecnológicos, como de las debilidades de las políticas de los países en desarrollo. Los aspectos de la bioseguridad, los derechos de propiedad intelectual y las patentes, así como las repercusiones de los procesos biotecnológicos sobre el medio ambiente y la preservación del germoplasma son algunos de los temas que se han venido discutiendo con más insistencia en los últimos años.

En relación con la bioseguridad en el mundo desarrollado se prevén tres riesgos posibles: la producción de organismos o sustancias patógenas nuevas o modificadas y su uso en la industria o en la agricultura; la liberación de organismos no patógenos modificados genéticamente que puedan representar un riesgo para otros seres vivos o que puedan afectar el equilibrio ecológico, y los riesgos derivados de la manipulación genética de los seres vivos (Trigo y Jaffé, 1990). En cuanto a la bioseguridad en el mundo en desarrollo, ésta se refiere tanto al empleo de productos o procesos biotecnológicos que no han sido aprobados para su uso en el mundo desarrollado, como a sus efectos sobre la salud y el medio ambiente. Estos riesgos han planteado la necesidad de introducir sistemas regulatorios más estrictos y específicos para los procesos y productos biotecnológicos. Sin embargo, Juma (1989) señala que es difícil introducir regulaciones en un campo nuevo por la ausencia de experiencia previa, ya que los efectos de la

introducción de las nuevas tecnologías solamente podrán conocerse *ex post facto*.

Las recomendaciones que se han elaborado hasta ahora van en el sentido de que los países en desarrollo deben estar atentos y monitorear las tendencias emergentes en la ingeniería genética de los países desarrollados, y sobre esa base formular los requerimientos que deberán guiar los experimentos (Juma, 1989). Es decir, se propone que un enfoque tendente a la bioseguridad deberá basarse en una estrategia de "esperar y ver", tal como la definen Trigo y Jaffé (1990).

Por lo que se refiere al patentamiento y a los derechos sobre la propiedad intelectual, la discusión se ha recrudecido debido a los cambios ocurridos en los países desarrollados, así como a las presiones que están ejerciendo las compañías transnacionales para establecerse en los países en desarrollo, siempre y cuando se garanticen normas flexibles para el patentamiento de sus productos y procesos biotecnológicos. En 1985 se posibilitó el patentamiento de plantas en Estados Unidos; sin embargo, en la ley de propiedad intelectual solamente se considera el patentamiento de los procesos para generar una nueva variedad, pero no la variedad misma, que queda protegida por la Ley de Semillas. Con respecto a las nuevas variedades de plantas, varios países cuentan con una protección legal que se ha denominado "derechos de los fitomejoradores" (*plant breeders rights*). Más recientemente ha surgido un nuevo concepto de derecho sobre las variedades al que se ha denominado "derechos de los agricultores". Esto ha surgido de la reflexión de que en los países industrializados las patentes y los derechos de los fitomejoradores aseguran la remuneración de estos últimos por su contribución al mejoramiento de las plantas, pero el fitomejoramiento tradicional que realizan los agricultores de los países en desarrollo nunca ha sido remunerado (van de Wijk, 1990).

La discusión sobre las distintas formas de propiedad sigue avanzando, y la biotecnología está conduciendo a grandes cambios en el régimen legal de los países en desarrollo. Sin embargo, algunos de estos países, y podría mencionarse el caso de los africanos, están buscando formas de propiedad intelectual que promuevan el desarrollo tecnológico endógeno y que permitan asimismo la absorción de tecnologías extranjeras (Ita y Juma, 1989). En América Latina, y en particular en México, se ha venido debatiendo sobre los pros y los contras de la modificación de las leyes de patentes. Cabría aquí plantear que uno de los elementos

centrales en esta discusión radica precisamente en asegurar y garantizar los desarrollos biotecnológicos locales y que la legislación vigente asegure su aplicación y uso por encima de los procesos similares desarrollados por otros países.

A pesar de contarse con diversos estudios que prevén sobre los efectos negativos de las biotecnologías, éstos son aún de carácter muy general, lo cual en gran parte está determinado por el hecho de que hasta la fecha solamente existen unos cuantos productos biotecnológicos en el mercado. Sin embargo, se requiere avanzar en el análisis de las especificidades de dichos efectos, adelantándose inclusive a las aplicaciones de las biotecnologías. Es decir, a diferencia de la forma como han sido evaluados los efectos de las tecnologías generadas por la revolución verde, para la biotecnología se requiere de estudios *ex ante* que permitan identificar sobre todo a los países en desarrollo, los peligros que se generarán con la introducción de las biotecnologías. A este respecto Buttel y Cowan argumentan que:

... hay una diferencia mayor entre la literatura de fundamento socioeconómico sobre la Revolución Verde y la biotecnología agrícola; donde aquélla estuvo ampliamente basada en recopilación *ex post* de datos, la última descansa en una variedad *ex ante* donde las metodologías y la aplicación de la biotecnología está todavía en su infancia" (Buttel y Cowan, 1990, pp 11-12).

De lo expuesto puede desprenderse que los efectos de las biotecnologías sobre los países en desarrollo son bastante complejos y de una gran variedad, y sus manifestaciones positivas o negativas dependerán en gran parte de las características económicas, políticas y tecnológicas del país en cuestión. Los desarrollos biotecnológicos están en proceso y sostenemos que sus posibilidades son enormes, sobre todo si se concibe a la biotecnología como un campo conformado por varias generaciones de desarrollos tecnológicos y no exclusivamente por la ingeniería genética. El panorama internacional no plantea una situación sencilla para los países en desarrollo. Sin embargo, dadas las tendencias que ya se observan y que se han sistematizado a lo largo de este inciso, puede afirmarse que existen aún espacios para que los países del mundo en desarrollo den a la biotecnología orientaciones diferentes de las que han adoptado los países desarrollados y las corporaciones transnacionales. Dichas orientaciones deberían dirigirse a satisfacer necesidades básicas de los países en desarrollo y a reorientar

sus cultivos agrícolas y recursos naturales a nuevos usos de interés para sus poblaciones. La sustitución que realizan los países desarrollados de los cultivos agrícolas por nuevos cultivos o por productos biosintéticos, también plantea nuevas opciones para los países que antes eran exportadores de materias primas. La biotecnología plantea múltiples posibilidades para generar nuevos usos de dichos cultivos y crear así nuevos productos para los mercados internos y externos de los países en desarrollo.

Además de la importancia de una nueva orientación en el desarrollo biotecnológico para los países del Tercer Mundo, es importante tener en cuenta que existen obstáculos que estos países deben superar si quieren lograr un desarrollo biotecnológico autónomo. Dichos obstáculos presentan modalidades específicas según el país en cuestión. Sin embargo, existe un conjunto de factores infraestructurales, económicos y políticos que, en general, está presente en todos los países del Tercer Mundo. Además de las barreras de infraestructura, la falta de mercados para los productos de las nuevas industrias biotecnológicas y la falta de voluntad política de los líderes de estos países, obstáculos a los que se refieren Buttell y Kenney (1985), existen otras limitantes igualmente importantes tales como las actitudes de los biotecnólogos hacia su trabajo, las características estructurales de los sistemas educativos en los que se genera la investigación biotecnológica y las modalidades del mercado de trabajo para estos especialistas.

Dada la diversidad de situaciones que experimentan los países del Tercer Mundo es posible argumentar que, para algunos de estos países, en especial para los de la región latinoamericana, esos obstáculos para el desarrollo biotecnológico no son tan agudos. Sin embargo, los efectos socioeconómicos positivos de la biotecnología sólo serán posibles en la medida en que logre consolidarse una infraestructura científico-técnica; se definan las áreas de interés para el país y logre plasmarse una voluntad política que haga posible la integración de la biotecnología con objetivos de desarrollo social. Es decir, en la medida en que se defina una estrategia que haga factible una orientación diferente del desarrollo biotecnológico para el Tercer Mundo.

Se han elaborado diversos planteamientos para los países en desarrollo en torno a la definición de una estrategia para la biotecnología. Así, se afirma (Junne, 1986) que la estrategia biotecnológica para los países en desarrollo debe prever los cambios futuros en la división internacional del trabajo, en función de la cual deberán definirse las prioridades internas de desarrollo tec-

nológico. Además, los países en desarrollo deberán tratar de adaptar lo más posible las nuevas tecnologías a sus propias necesidades y tratar de cooperar con otros países en desarrollo. Asimismo, se sostiene (Arroyo, 1986) que la biotecnología en los países en desarrollo está condicionada a instrumentar políticas coherentes orientadas al desarrollo agrícola y agroindustrial relativamente autónomo. Dichas políticas podrían tener consecuencias positivas para la biotecnología si estuviesen orientadas a una nueva estrategia agrícola y alimentaria, a partir de la cual se dé una racionalidad diferente a la biotecnología, sobre la base de motivaciones de carácter social. Se señala también (Sasson, 1986) que una estrategia biotecnológica para los países en desarrollo deberá considerar la cooperación regional e internacional, tanto con los países desarrollados como con otros países en desarrollo. Se cuenta por lo tanto con diferentes planteamientos en el plano general tendentes a garantizar un desarrollo biotecnológico acorde con las necesidades de los países en desarrollo. Sin embargo, se hace necesario avanzar en las especificidades de esos planteamientos y relacionarlos con las características concretas de un país o de una región. Además, se requiere apoyar un desarrollo biotecnológico basado en una racionalidad diferente a la imperante, que persigue principalmente objetivos de mercado, que deteriora los recursos naturales y que en última instancia entra en contradicción con objetivos de bienestar social para las clases mayoritarias.

1.3 La promoción de una estrategia biotecnológica para América Latina

Desde los últimos años de la década de los setenta, se han venido organizando diversos foros y proyectos a nivel regional que han tenido como propósito ayudar a definir una estrategia de desarrollo biotecnológico para América Latina. En el plano nacional, como es el caso de Brasil, México, Argentina, Venezuela y Costa Rica, se han producido diversos planteamientos, tanto oficiales como provenientes del mundo académico, en los que se fundamenta la conveniencia de estructurar un desarrollo biotecnológico.

Uno de los argumentos en el que se sustenta la importancia del desarrollo biotecnológico en América Latina, es el que se refiere a que algunos de los países de la región poseen ya una infraestructura científica en las diferentes disciplinas que conforman la biotecnología, que en el mediano plazo permitiría resolver

problemas que requieren actualmente de la asistencia biotecnológica. América Latina, según sostienen algunos académicos (Texera, 1985; Salles *et al.*, 1985; Orrego, 1989), cuenta con una importante infraestructura en las ciencias biológicas, o ciencias de la vida, y una razonable competencia en técnicas de mejoramiento genético tradicional y en fermentaciones. Esta situación la coloca en una situación ventajosa para el desarrollo de la biotecnología, ya que ésta es un área de investigación que se apoya precisamente en las disciplinas mencionadas. Sin embargo, tal como lo sostiene Goldstein (1989), América Latina es bastante débil en su capacidad de investigación y de recursos humanos en biología molecular, lo que la coloca, según el autor, en gran desventaja para desarrollar una base competitiva a nivel internacional en biotecnología.

La biotecnología es una actividad de investigación intensiva, y se ha generado principalmente en los centros universitarios, lo que representa una ventaja comparativa para América Latina en relación con los países industrializados (Texera, 1985), debido a que los costos de investigación y los costos de personal son mucho más bajos en América Latina que en los países desarrollados. Además, se argumenta que la biotecnología es un área de desarrollo relativamente reciente cuyas aplicaciones tecnológicas e industriales son aún incipientes, lo que indica que la brecha tecnológica entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo no es aún tan grande (Salles *et al.*, 1985; Ançiaes y Cassiolato, 1985). Dado que la biotecnología es un área en gestación, sus resultados aún no se ofrecen como paquetes tecnológicos cerrados (Herrera, 1986; Ortiz Mena, 1984). Es decir, que esta situación de especificidad de la biotecnología plantea para los países de América Latina nuevas formas de negociación para la adquisición de tecnologías, sin requerirse de la transferencia de procesos completos o paquetes tecnológicos cerrados.

Otro de los argumentos a favor de estas tecnologías es que en América Latina existen cuantiosos y muy variados recursos naturales que podrían ser utilizados y optimizados a través de técnicas biotecnológicas, y orientados hacia la alimentación, la salud y la producción de energía. Esta situación, constituye para algunos autores (Arroyo, 1986; Herrera, 1986) una ventaja comparativa que se expresa en la posibilidad de producir alimentos más eficientes y al mismo tiempo racionalizar y proteger los enormes recursos naturales que posee la región. Es decir, que aun cuando existen grandes riesgos para los países latinoamericanos de que sus productos de exportación sean sustituidos por otros o por nue-

vos productos generados por métodos biosintéticos, la biotecnología plantea también nuevas opciones para la utilización de los productos básicos de estos países orientándolos a nuevos objetivos y optimizando su utilización.

Sin embargo, todos estos aspectos positivos en torno a la biotecnología han sido cuestionados, principalmente por Goldstein (1989), quien argumenta que América Latina ha estado sujeta a una inmensa oleada de propaganda biotecnológica proveniente de los países desarrollados. Pero, afirma Goldstein, la biotecnología que el Primer Mundo está interesado en vender a América Latina, no tiene requisitos intelectuales y es adecuada a nuestras condiciones naturales y desprovista de problemas de patente. Es decir, sostiene el autor que hay entonces dos biotecnologías: "la de ellos y la nuestra" (Goldstein, 1989).

De lo anterior se deduce que uno de los aspectos que está presente en la discusión en América Latina es el tipo de biotecnología que requiere la región. Al respecto se han planteado distintas propuestas: una de ellas destaca la importancia para América Latina de orientar su desarrollo hacia la frontera tecnológica, y más concretamente hacia la biología molecular (Goldstein, 1985a); otra propuesta pone énfasis en la relevancia de desarrollar una biotecnología que, combinada con las técnicas tradicionales, pueda contribuir a un mejor uso de los recursos naturales y a la solución de diversos problemas que aquejan a las poblaciones (Arias, 1987; Arroyo, 1986; Herrera, 1986; Salomon, 1983).

Estos dos planteamientos no son excluyentes entre sí ya que, si se parte de la adopción de un concepto amplio de biotecnología, existe cabida para ambos. Es importante considerar que dichos niveles de desarrollo biotecnológico implican plazos diferentes para llegar a la generación de procesos y productos. Por lo anterior, y tomando en cuenta las observaciones vertidas en párrafos anteriores respecto de las potencialidades científicas y tecnológicas en la región, una estrategia de desarrollo biotecnológico para América Latina deberá considerar tanto las potencialidades de la biotecnología tradicional como aquellas que parece ofrecer la nueva biotecnología. Esto se sustenta en el hecho de que las nuevas técnicas biotecnológicas requieren a su vez de las tradicionales. Así, la ingeniería genética se apoya en el cultivo de tejidos y finalmente se aplica en el campo a través del trabajo de los fitomejoradores; por su parte, las técnicas tradicionales de fermentación serán el sustento para el desarrollo de nuevos procesos y la utilización de nuevos sustratos. Además, América Latina requiere

del desarrollo y adaptación de tecnologías a las necesidades locales, por lo que también deberá considerarse el empleo de tecnologías ya existentes pero poco explotadas en la región como es el caso de las fermentaciones y el reciclaje y bioconversión de desechos.

En América Latina han aumentado los planteamientos para elaborar una estrategia biotecnológica que hace hincapié en la importancia del sector agrícola por sobre otros sectores. Sin embargo, las potencialidades de la biotecnología relacionadas con la alimentación no se limitan exclusivamente a la fase agrícola, sino que estas tecnologías ofrecen también importantes contribuciones a la fase agroindustrial y a la propia industria alimentaria. La definición de una estrategia biotecnológica para la región deberá considerar también otros sectores prioritarios además del agrícola y alimentario, y extenderse a sectores tales como la salud y el medio ambiente, que representan también áreas estratégicas para el desarrollo de la región.

En relación con la fase agroindustrial, las tecnologías de fermentación, la ingeniería enzimática y la bioingeniería adquieren gran relevancia para la utilización y racionalización de los recursos naturales, así como para contribuir a la solución de los problemas de contaminación que se originan en las fases agrícola y agroindustrial. Muchas de estas técnicas no corresponden a lo que se ha denominado nueva biotecnología, sino que se clasifican en lo que ha sido denominado biotecnología tradicional, actual y apropiada (Quintero, 1985),⁵ es decir, en lo que la OCDE (1982) ha denominado como tecnologías intermedias o en lo que Sharp (1985) caracteriza como biotecnología de primera y segunda generación.

Con esta óptica se elaboró hace algunos años un planteamiento de estrategia de desarrollo de la biotecnología para el sistema de granos básicos en América Central (Arias, 1987). En esta propuesta se planteaba que:

Las posibilidades que abren las nuevas biotécnicas para obtener productos industrializados de segunda, tercera y hasta cuarta y quinta transformación, a partir de los productos agrícolas y de la biomasa en general, es otra parte de la biotecnología que se hace

⁵ La biotecnología tradicional se refiere a la producción de bebidas fermentadas; la biotecnología apropiada es la que no requiere de muchos recursos humanos, técnicos o económicos adicionales a los existentes; la biotecnología actual es la base tecnológica en la que se sustentan la producción de antibióticos, enzimas, aminoácidos, agroquímicos y tratamiento de efluentes, y la nueva biotecnología sería la que se sustentan en la modificación de microorganismos mediante el empleo de técnicas de ingeniería genética (Quintero, 1985, pp. 469-472).

necesario estudiar con mucha prioridad, ya que permitirá industrializar el sector agropecuario y por lo tanto darle otra dimensión y valorización a los subsistemas agrícolas. Además, la industrialización de la agricultura con las técnicas de la ingeniería enzimática y la ingeniería de fermentaciones, podría convertir a casi todos los subsistemas agrícolas en fuente importante de proteínas, dándole otro carácter al sistema alimentario de Centro América (Arias, 1987, p. 13).

Una estrategia de esta naturaleza, sostiene Arias, permitiría la producción de alimentos proteicos, nuevos glúcidos y lípidos, así como mejorar la calidad organoléptica de los alimentos y, además, sustituir la importación de productos como la soya, alimentos enriquecidos y aminoácidos.

Asimismo, se hace necesario definir una estrategia biotecnológica para el sector salud y orientar las investigaciones a la solución de las enfermedades prevalentes en la región, así como a la formación de una industria farmacéutica competitiva e independiente. Sin embargo, conviene señalar que es este sector el que se ha caracterizado por las innovaciones biotecnológicas a nivel internacional y el que se encuentra controlado por fuertes monopolios transnacionales, por lo que la lucha para los países latinoamericanos por lograr competitividad y conseguir mercados deberá ser muy fuerte y deberá implicar la cooperación a nivel regional.

En América Latina, diversas organizaciones internacionales han realizado acciones encaminadas a estimular e integrar los desarrollos regionales en biotecnología. A partir de 1968, la Organización de Estados Americanos (OEA), como parte de su programa de desarrollo científico y tecnológico en la región, ha contribuido a la promoción y diseminación de los aspectos industriales del conocimiento microbiológico, al establecimiento de sociedades nacionales de genética, al estudio del aislamiento y aplicación de enzimas para la producción (Orrego, 1989) y más recientemente, ha elaborado un programa de formación de recursos en biotecnología (Orrego, 1987). Asimismo, la OEA ha organizado diversas reuniones y cursos regionales en el campo de las fermentaciones y ha estimulado la identificación de problemas regionales de interés (Casas-Campillo, 1978 y 1979).

El panel en microbiología constituido por la UNEP-UNESCO-ICRO ha diseminado el conocimiento básico y aplicado de la microbiología mediante la organización de cursos cortos de entrenamiento a nivel regional. Por su parte, la Organización Internacional de

Biotecnología y Bioingeniería (IOBB), estableció un programa de intercambio en el que participan varios laboratorios latinoamericanos y que ha sido de gran ayuda para mejorar el nivel de la investigación científica y tecnológica en el campo de las fermentaciones en la región (Casas-Campillo, 1978).

Por lo que se refiere a la organización de reuniones regionales, el organismo brasileño CECTAL (Centro para la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo de América Latina), ha jugado un papel muy importante, ya que en 1974 organizó la primera reunión latinoamericana en ingeniería bioquímica y biotecnología, cuyo segundo encuentro tuvo lugar en 1975 en Guatemala. Estas acciones orientadas a la promoción de encuentros científicos en la región, fueron alentadas también por la Asociación Latinoamericana de Biotecnología y Bioingeniería, que durante los años setenta promovió diversas acciones en la región.

América Latina participa de la Red de Centros de Recursos Microbiológicos (MIRCENS), promovida entre 1975 y 1978 por la UNESCO- PNUMA-ICRO-FAO, y actualmente cuenta en la región con tres de estos centros: uno en Brasil, otro en Argentina y un tercero en Guatemala. Estos centros se concentran en investigaciones sobre degradación de celulosa, fijación de nitrógeno y fermentaciones lácticas (Grau, 1985). Además, se cuenta en América Latina con un Programa Regional de Entrenamiento de Posgrado en las Ciencias Biológicas (LANBIO), financiado por la UNESCO y el PNUD, que se inició en 1975 y que incluye a diez países de la región (Orrego, 1989).

En la década de los ochenta se han promovido diversas acciones regionales con el propósito de estimular el desarrollo de la biotecnología en América Latina y generar la cooperación entre los países de la región. Una de estas acciones es la creación de una Red Latinoamericana de Centros de Biotecnología, bajo el patrocinio de PNUD-ONUDI-UNESCO. Esta red fue creada en 1984 y su objetivo es propiciar la colaboración entre los diferentes centros existentes en la región. La red está integrada por comités nacionales en cada país, que a su vez están formados por miembros de los consejos nacionales de ciencia y tecnología, con representantes de científicos, del sector industrial y de autoridades del gobierno. En una primera etapa se seleccionaron las siguientes áreas de cooperación: bioenergía, fijación del nitrógeno, procedimientos de diagnóstico y producción de vacunas contra algunos virus y parásitos, fermentación láctica y producción de antibióticos (*Asociación Interciencia*, 1984).

Asimismo, la ONUDI y la UNESCO establecieron en 1987 un Programa Regional de Biotecnología para América Latina y el Caribe, con el propósito de estimular la cooperación, no solamente en el aspecto científico-técnico, sino en la formación de empresas latinoamericanas que industrialicen los procesos biotecnológicos generados en esta región. Las áreas seleccionadas para ese programa fueron: *a)* mejoramiento de técnicas de laboratorio para el diagnóstico de la tripanosomiasis y la leishmaniasis; *b)* desarrollo de técnicas para detectar virus en plantas; *c)* producción de proteínas microbianas y enzimas para la biodegradación de residuos agrícolas; *d)* producción industrial de la enzima penicilina amidasa; *e)* desarrollo de nuevos procedimientos para pruebas de diagnóstico de malaria, patógenos intestinales y hepatitis, y *f)* desarrollo tecnológico para obtener una enzima que degrade la lactosa de la leche (Orrego, 1989). En cada uno de los proyectos participan centros de investigación de diferentes países latinoamericanos. El financiamiento otorgado por el PNUD es de 1 765 900 dólares para un período de entre tres y tres años y medio. Este programa representa un esfuerzo por llevar el trabajo de laboratorio a su producción industrial en la región (Orrego, 1989). Sin embargo, también se observa la falta de participación en este programa de algunos centros importantes de investigación biotecnológica en América Latina que trabajan en las áreas seleccionadas y a los que no se incluyó en los proyectos financiados. Este programa tiene una duración que va hasta 1992 y aún es incierto si habrán de continuarse los esfuerzos iniciados de cooperación regional.

Otros organismos regionales e internacionales tales como la OPS, el SELA, el Pacto Andino, la OMPI y la CEE han emprendido diversas acciones de cooperación, tanto entre los países latinoamericanos como entre los países desarrollados y América Latina,⁶ además de que también financian proyectos de investigación en países individuales. Para citar un ejemplo hay que mencionar los financiamientos destinados por el PNUD para el programa "Desarrollo de procesos biológicos y aplicaciones industriales de la lixiviación del cobre chileno", dado que la actividad de extracción de cobre y su exportación es de gran importancia y representa la mitad de los ingresos externos de este país.

⁶ Se hará referencia concreta a las acciones emprendidas por estos organismos en el capítulo 5, en el que se analizan las políticas que afectan el desarrollo de la biotecnología en México. En ese capítulo se considerarán las acciones de cooperación que se han pactado con dichas organizaciones en el campo específico de la agricultura y la alimentación.

Además de los acuerdos regionales, se han establecido diversos convenios entre países de la región, destacándose el establecimiento en 1986 del Centro Argentino-Brasileño de Biotecnología y el acuerdo entre Venezuela y Colombia también en 1986. A través de este último acuerdo científicos de las universidades y de los laboratorios industriales decidieron establecer una colaboración en los siguientes campos: *a*) diagnóstico y prevención de enfermedades virales de plantas de importancia económica, concretamente plátano, papa, yuca y cacao; *b*) investigación básica en enfermedades animales causadas por virus, bacterias y agentes parásitos, y *c*) desarrollo de pruebas de diagnóstico sensitivas para detectar malaria, leishmania y tripanosomiasis (Orrego, 1989).

Resulta importante destacar que en el ámbito latinoamericano, a mediados de la década de los ochenta, empiezan a emerger algunas empresas biotecnológicas por medio de contratos entre el sector privado con universidades e institutos de investigación, mediante programas de riesgo compartido o a través de convenios entre instituciones públicas y el sector privado. La biotecnología en cierta forma ha venido a modificar el escaso patrón de vinculación entre las universidades y el sector productivo prevaleciente en la región latinoamericana. Las orientaciones de las empresas brasileñas y mexicanas han sido hacia la producción de antibióticos, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, plantas micropropagadas, reactivos biológicos y medios de cultivo (Orrego, 1989).

El surgimiento de estas industrias ha llevado a que algunos países latinoamericanos formen asociaciones de empresas en biotecnología, como es el caso de Brasil y más recientemente ha motivado la creación de la Federación Latinoamericana de Asociaciones de Empresas en Biotecnología (FELAEB), constituida en 1990 y en la que participan Argentina, Brasil, Costa Rica, Chile, México y Uruguay (*Boletín de Biotecnología*, 1990). La FELAEB organizó en 1991 la Feria y Congreso Latinoamericano de Biotecnología en São Paulo, Brasil. En esta feria las empresas comerciales presentaron sus nuevos productos, tecnologías y procesos diagnósticos o de investigación disponibles en el mercado y se analizaron diversos aspectos sobre la comercialización de estas tecnologías y sus efectos económicos y ambientales (*Boletín de Biotecnología*, 1991).

Paralelamente a estas acciones se han venido organizando diversos foros, convocados en su mayoría por organizaciones internacionales, en los que se han discutido diversas propuestas para determinar prioridades y el tipo de infraestructura que debe

promoverse en América Latina. En dichos foros se han abordado diversos aspectos de la biotecnología entre los que destacan: infraestructura existente en el área biotecnológica limitaciones para el desarrollo de una biotecnología relevante para la región; determinación de prioridades biotecnológicas para satisfacer las necesidades básicas de la región, definición de programas de cooperación regional, patentamiento, biodiversidad, medidas que deben adoptarse para evitar los impactos de la biotecnología provenientes de los países desarrollados, así como planteamientos para una nueva estrategia de desarrollo biotecnológico que contribuya a la autodeterminación y el desarrollo endógeno de América Latina.⁷

En América Latina no existe una política clara en el campo biotecnológico. Los conceptos mencionados en los párrafos anteriores aún están en discusión y no se ha llegado a definir una política explícita de desarrollo biotecnológico orientado a las necesidades de la región, aunque sí existen diversas propuestas que apuntan en esta dirección. Algunos países (Brasil, Argentina, Venezuela, Costa Rica) cuentan con programas nacionales en este renglón, y han establecido también acciones de cooperación entre algunos de ellos, como es el caso concreto de Argentina y Brasil. Cuba es el único país que ha logrado delinear una estrategia biotecnológica, para lo cual ha seleccionado cinco campos prioritarios: micropropagación de plantas, transformación de residuos agrícolas, biogas, material de diagnóstico y vacunas.

La definición de una política biotecnológica en el marco de una nueva estrategia de desarrollo en América Latina, orientada a la satisfacción de las necesidades básicas de la población, sería la base para racionalizar nuestros recursos naturales y revalorizar los productos y subproductos actualmente existentes. Esta política

⁷ Los planteamientos que se exponen en este apartado han surgido en distintos encuentros organizados en América Latina, en los que han participado representantes de muy diversos sectores de la sociedad. A continuación se enlistan en orden cronológico las reuniones en las que se expresaron los planteamientos que se incluyen en este apartado: OPS-OMS, *Problemas para el desarrollo de una biotecnología autónoma para América Latina*, Washington D. C., 5-9 diciembre 1983; BID-CIMMYT, *Seminario de estrategias para fortalecer la investigación agrícola en América Latina y el Caribe*, México, 10-12 septiembre 1984; Asoc. Interciencia-USAID-IDRC-CATIE, *Biotechnology in the Americas II*, San José, Costa Rica, 14-17 julio 1985; CEPAL-Centre for U. S.-Mexican Studies, *Biotechnology and Food Systems*, La Jolla, USA, 18-19 noviembre 1985; UNICAMP-UNU, *Reunión Latinoamericana: Biotecnología, producción agrícola y recursos naturales renovables*, Campinas, Brasil, 16-18 abril 1986; UAM-X, BCIE, BCH, *Seminario Biotecnología y Autosuficiencia Alimentaria para México y Centroamérica*, Tegucigalpa, Honduras, 6-10 abril 1987.

requeriría utilizar la capacidad científica y tecnológica ya existente en la región en las diferentes disciplinas que conforman la biotecnología y, al mismo tiempo, dar una nueva orientación a los desarrollos biotecnológicos para asegurar la producción de alimentos básicos relevantes para la población de esta región.

La estrategia de América Latina debería orientarse de la misma forma que en los países desarrollados; es decir, sustituir importaciones mediante la utilización de la biotecnología para la producción de productos alternativos. No se trata en este caso de sustituir el uso de los cultivos tradicionales por otros más rentables o por productos generados por métodos sintéticos. Se trata, por el contrario, de utilizar los recursos naturales existentes, optimizar su producción y orientarlos a objetivos diferentes a los hasta ahora perseguidos.

Uno de los problemas que afronta actualmente la región latinoamericana es que los países que la integran se han involucrado en una multiplicidad de áreas de investigación, en vez de concentrar sus escasos e incipientes recursos en áreas bien seleccionadas.

La biotecnología, en sus diferentes sectores, posee un carácter específico tanto por lo que se refiere a las materias primas utilizadas, como en cuanto a lo que toca a las condiciones ambientales de producción. En este caso, las diversas aplicaciones agrícolas y aquellas relacionadas con la salud destacan como líneas seguramente diferenciadas. En el caso de la energía y de algunos sectores de la química y de la farmacéutica, la diferenciación se da en el nivel de disponibilidad de materias primas y de las aplicaciones de mercado (Ançães y Cassiolato, 1985, p. 127)

Dada esta diversidad de aplicaciones, se ha sugerido (Arroyo, 1986) que América Latina como región no puede lanzarse al desarrollo simultáneo de todas las áreas biotecnológicas, por lo que una propuesta razonable sería seleccionar una sola área de incidencia de la biotecnología que podría ser la agricultura, con lo que se estaría en posibilidades de lograr un impacto grande. Esto implicaría orientar el desarrollo biotecnológico tanto a cuestiones con aplicación inmediata como a la investigación básica que permita sustentar avances en el largo plazo. Esta propuesta se fundamenta en el hecho de que en el área agrícola, el atraso científico de la región en términos relativos no es muy grande. Además, según sostiene Dagnino (1986), la biotecnología agrícola es un

área en la cual es posible adoptar una política agresiva en mercados que aún no están establecidos.

Junto con estos planteamientos habría también que aclarar que el argumento de la competitividad internacional y del control de los mercados corresponde a una racionalidad que no funcionaría para América Latina. En todo caso, como afirma Dagnino, se trataría de crear mercados regionales de nuevos productos no necesariamente iguales a los de los países desarrollados. Estos planteamientos han llevado incluso a proponer la idea de la creación de una comunidad económica latinoamericana, lo que haría que diversos procesos biotecnológicos basados en la utilización de los recursos naturales de la región resultaran económicamente rentables.

Cualquier estrategia que se sugiera para el desarrollo biotecnológico de la región deberá hacer frente a los insuficientes investigadores y laboratorios, así como a la escasa investigación industrial que caracterizan a América Latina. A esto habría que agregar otras limitaciones detectadas recientemente (FAO, 1989-1990) por una encuesta regional de laboratorios de biotecnología vegetal, en la que se subraya que existe una falta de capacitación en biotécnicas avanzadas, reducidos recursos presupuestarios y la carencia de una red de información o investigación cooperativa. El aislamiento de los pocos grupos existentes inhibe el desarrollo, principalmente en los campos en los que el progreso es más rápido. Sin embargo, no hay que esperar a contar con la masa crítica necesaria que garantice en términos cuantitativos una infraestructura biotecnológica, sino que habría que sustentar el desarrollo futuro de la biotecnología en los grupos de científicos que, aunque reducidos, poseen ya una trayectoria y calidad académica.

Por lo anterior, una de las tareas por desarrollar en la definición de una estrategia sería identificar a ese grupo de científicos, evaluar sus potencialidades, así como la relevancia de los procesos por ellos generados para las poblaciones y problemas de la región latinoamericana. Sobre esta base sería posible definir programas y prioridades nacionales en el desarrollo de la biotecnología y, a partir de ahí, diseñar la estrategia latinoamericana. Dicha estrategia deberá considerar no solamente la capacidad científico-técnica, sino también la capacidad industrial que se requiere para apoyar y poner en marcha los desarrollos biotecnológicos. Es decir, que tal como lo sustentan Ançães y Cassiolato (1985), es necesario estructurar una competencia científica e industrial en biotecnología, ya que existen bases importantes para ello, capaces de hacer

frente a las estrategias de los países desarrollados y de las corporaciones transnacionales, y evitar así una agudización de la dependencia. Éste es uno de los grandes retos que América Latina debe enfrentar para no repetir un modelo de desarrollo industrial sustentado en la importación de tecnología y no en un desarrollo tecnológico endógeno.

Otro de los aspectos importantes en la definición de una política biotecnológica para la región latinoamericana, es el que se refiere al patentamiento de los procesos biotecnológicos, aspecto que reviste características diferentes de las que se presentan en los países desarrollados. En Estados Unidos ya se cuenta con una legislación que establece que tanto las plantas como los animales y los microorganismos pueden ser patentados. Asimismo, los procesos, los diferentes pasos de la invención, así como el producto final son también objeto de patentes. América Latina está empezando a adoptar medidas legislativas relacionadas con el patentamiento, incluidos los recursos y procesos biotecnológicos. México es el primer país de la región que ha modificado su legislación y en el que se permite ya el patentamiento de productos químicos, farmacéuticos, alimentos, bebidas, invenciones relacionadas con microorganismos e incluso variedades de plantas.

Algunos autores (Goldstein, 1985b) opinan que en esta región debería considerarse la posibilidad de patentar su flora y fauna caracterizada molecularmente, como una forma de protección contra el robo de sus recursos genéticos. Otros especialistas (Quintero, 1987) han sugerido que no es conveniente para América Latina aceptar la estrategia de las patentes, ya que ésta es una medida que favorecerá a las empresas transnacionales interesadas en desarrollar investigación biotecnológica empleando tanto recursos naturales como personal calificado existentes en la región.

A pesar de las presiones que ha venido ejerciendo Estados Unidos y las compañías transnacionales farmacéuticas y agrícolas, los países de América Latina han considerado con precaución los cambios en sus legislaciones nacionales de patentes y, salvo el caso de México, en el que las presiones políticas y económicas llevaron a la modificación de la ley en 1991, el resto de los países latinoamericanos no ha hecho aún modificaciones sustanciales y no considera en su legislación la patentabilidad de procesos biotecnológicos.

Entre los temas relacionados con las repercusiones del patentamiento biotecnológico destacan los siguientes: efectos del patentamiento sobre la experimentación tradicional de selección y

mejora de variedades; efectos del patentamiento sobre la investigación biotecnológica, debido a que, según se ha argumentado, tendría un efecto adverso; efectos del patentamiento sobre la industria y la agricultura así como las repercusiones que tendría sobre el flujo de inversiones y tecnologías extranjeras hacia los países en desarrollo.⁸

La biotecnología, tal como se define en sus potencialidades para la agricultura y la alimentación, reviste una gran relevancia y representa una posibilidad para superar la crisis alimentaria que aqueja a los países en vías de desarrollo y concretamente a los países latinoamericanos. Debido a lo anterior, la definición de una estrategia que oriente la capacidad biotecnológica hacia esos problemas es una tarea que los países de la región deben adoptar en forma urgente. Además de evaluar cualitativamente las capacidades científicas y técnicas de estos países para apoyar el desarrollo de la investigación biotecnológica, es preciso realizar también evaluaciones sobre la magnitud y las características de los recursos naturales con los que cuentan, para determinar los tipos de cultivos que resultan básicos para la alimentación de su población y que son factibles de explotar por las peculiaridades de sus tierras, así como para definir el nivel de complejidad de los procesos biotecnológicos que se aplicarán.

Sin embargo, el eje central en la aplicación de esta estrategia radica en una nueva orientación en las políticas de desarrollo económico y social de América Latina y en la consideración de las necesidades básicas de la población como el principal objetivo de desarrollo. Solamente en el marco de una estrategia de desarrollo que ponga énfasis en estos aspectos será posible que la biotecnología en los países latinoamericanos logre un impacto socioeconómico positivo sobre la población.

⁸ Para una discusión más detallada de cada uno de estos posibles efectos del patentamiento, véase: Correa, C. M. (1990), "Patentes y biotecnología: opciones para América Latina", *Revista del Derecho Industrial*, año 12, núm. 34, enero-abril, Buenos Aires, p. 5

CAPÍTULO 2

LA BIOTECNOLOGÍA EN LA PROBLEMÁTICA AGROALIMENTARIA EN MÉXICO

El sector agroalimentario mexicano atraviesa por una crisis de tipo estructural, cuya solución no depende exclusivamente de inversiones y créditos, ni de la disponibilidad de insumos o de la adquisición de capacidades tecnológicas. Su solución depende más bien de la aplicación de una estrategia para el desarrollo del sector, que reoriente la producción hacia los productos básicos y el mercado interno y que sea congruente con las necesidades básicas de la población (Arroyo, Rama y Rello, 1985; Arroyo, 1986).

En esa estrategia es necesario redefinir el papel de la tecnología agrícola, que debería adquirir una racionalidad diferente a la que ha prevalecido hasta ahora y cuyos fines han sido el aumento de la productividad, las ganancias y las conquistas de los mercados. Dicha estrategia debería considerar nuevos parámetros y orientarse a regiones que no han recibido estímulos y a tierras en las que hasta ahora se hacen difíciles las actividades agrícolas. La racionalidad en este caso, como lo señala Arroyo (1986), debería estar basada en motivaciones de carácter social y político, tales como la destrucción del flagelo del hambre, la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, la creación de empleos productivos para los campesinos sin tierra y el aumento de la seguridad alimentaria que permita avanzar hacia la autosuficiencia en este rubro.

La solución a la crisis del sector agropecuario no dependerá exclusivamente de la introducción de nuevas tecnologías, sino de la adopción de una voluntad política efectiva para aplicar una estrategia alternativa para el sector. Es en el marco de una política

agrícola como la señalada, que los efectos de la aplicación de nuevas tecnologías podrán tener efectos positivos y tender a solucionar los problemas que actualmente afronta el sector agroalimentario.

La definición de una política para desarrollar una capacidad tecnológica acorde con las necesidades del sector agroalimentario del país, debe considerar la capacidad de investigación en las áreas agrícola y alimentaria con las que se cuenta, y que se realizan principalmente en instituciones financiadas por el sector público, tanto en universidades como en institutos gubernamentales.

México cuenta con un potencial desarrollado durante varias décadas en las diferentes disciplinas que constituyen la biotecnología, por lo que el análisis de las orientaciones de la investigación biotecnológica se hace indispensable para definir las potencialidades de esta nueva tecnología para el país, así como para prever los efectos que esas tecnologías tendrán sobre el sector agroindustrial.

El estudio de las características actuales de la investigación biotecnológica en las áreas agrícola y agroindustrial en México tiene dos propósitos fundamentales. En primer lugar, elaborar un análisis empírico para la evaluación de capacidades de investigación, mediante la aplicación de criterios de orden cualitativo y contribuir con ello a definir una metodología para los estudios de políticas científicas y tecnológicas. En segundo lugar, ayudar a determinar las opciones y oportunidades para el país en la aplicación de la biotecnología, mediante la definición de áreas prioritarias, que consideren tanto las capacidades de investigación ya desarrolladas, como la problemática agroalimentaria que requiere de soluciones o de nuevas alternativas tecnológicas.

En este capítulo se presentan las principales características de la situación por la que atraviesa actualmente el sector agroalimentario y se señalan los principales factores que explican la crisis de este sector. Posteriormente se analizan los principales patrones del desarrollo de la industria alimentaria y los problemas nutricionales que confronta actualmente la población del país. Esta revisión de las características de los problemas agroalimentarios en México, tiene como objetivo identificar los problemas que requieren apoyo tecnológico y que podrían ser superados con la introducción de la biotecnología.

En la última sección del capítulo se exponen los argumentos que sustentarían el desarrollo de la biotecnología en México, atendiendo a la situación agroalimentaria actual. La consideración de estos planteamientos es el centro de la presente investigación.

Mediante el análisis de las orientaciones actuales de la investigación biotecnológica en el país, se determinará si dicha investigación se orienta a resolver los problemas señalados. Esto permitirá determinar si las orientaciones de la investigación biotecnológica que se siguen en el país, implican la adopción de una nueva estrategia para el sector alimentario o si, por el contrario, tienden a perpetuar el patrón agroalimentario prevaleciente. Estos aspectos serán discutidos en profundidad en el último capítulo del libro.

2.1 Problemática del sector agropecuario

La problemática del sector agroalimentario en México ha sido provocada por muy diversos factores, entre los que destaca la fuerte expansión del capital extranjero en el país. Dicha expansión ha generado que el centro de la producción agrícola sea la producción de proteínas, por medio de nuevos mecanismos y a través de nuevos productos. La producción extensiva de ganado ha sido sustituida por la producción intensiva de pollo, cerdos, carne de res y leche. Las tierras de pastos naturales han sido sustituidas por los alimentos balanceados. El uso de los granos ha cambiado: no se destinan más a su consumo directo, sino a la industria, para consumo humano y fundamentalmente para su uso en la alimentación animal. Por otro lado se observan cambios en el flujo tradicional de cultivos agrícolas y, en ciertos casos, las exportaciones de granos han sido sustituidas en unos cuantos años por su importación (Suárez y Vigorito, 1982).

Este cambio es explicado por Barkin y Suárez (1982) como el efecto de la internacionalización del capital sobre la producción de alimentos y sobre el uso de las tierras agroindustriales. Esta situación ha ocasionado un cambio en la cantidad de tierras que actualmente se destinan a la producción ganadera. También ha producido el desplazamiento de los productos básicos por productos fuertemente relacionados con la agricultura comercial o capitalista, lo cual ha traído como consecuencia un incremento en la importación de productos básicos que anteriormente eran producidos en el país. La expansión internacional del capital ha propiciado también una diversificación de la agricultura, presionando para la producción de frutas y legumbres, dada su importancia para la exportación. Asimismo, dicha expansión ha limitado el poder de compra de los consumidores nacionales, ha propiciado la ausencia de control de calidad y ha ocasionado

serios problemas epidemiológicos causados por las aguas contaminadas que se emplean para la irrigación (Barkin y Suárez, 1982).

El resultado es una producción agrícola y alimentaria determinada por el proceso de internacionalización del capital que es el que, en última instancia, define la naturaleza de los productos y los patrones de consumo de la población. Es decir, la situación que afrontan los sectores agrícola y alimentario en México, encuentra gran parte de su explicación en los factores internacionales y en las características que ha adquirido en los últimos años el sistema capitalista.

En los últimos treinta años, el sector agrícola mexicano ha enfrentado cambios radicales. Estos cambios han acentuado algunas de las características de su estructura, una de las cuales es que no observa un crecimiento sostenido. Hewitt (1978) ha analizado las tendencias de crecimiento del sector entre 1940-1970. De su análisis se deduce que algunas tendencias son evidentes: entre 1942-1945 la tasa anual de crecimiento fue de 3.6%. Éste fue el período en que el Estado comenzó a aplicar la política de irrigación. Entre 1945-1956, cuando el sector agrícola ya estaba recibiendo los impactos de la irrigación, la tasa anual de crecimiento observó un incremento espectacular llegando hasta 6.9%. Este crecimiento se debió a una serie de medidas que acompañaron la irrigación, tales como créditos, insumos agrícolas y mecanización, conformándose un paquete completo de estímulos a la productividad agrícola y a la producción de cultivos orientados al mercado externo. De 1956-1961 la producción agrícola decreció considerablemente, cayendo a una tasa de 2.5% anual. Nuevamente se recupera entre 1961-1964 llegando a una tasa de 4.9% y decreció enormemente desde 1965, dando una tasa de 1.2% entre 1965-1970 y un crecimiento negativo durante los primeros años de la década de los setenta (Hewitt, 1978). Entre 1977-1981 el crecimiento de la agricultura mexicana se recuperó y creció a una tasa promedio de 5.9% anual en términos de producto interno bruto; a partir de 1982 se observó una recaída en la crisis agrícola al declinar la tasa media de crecimiento anual hasta 0.7% en el período 1982-1987, tasa considerablemente inferior al aumento demográfico que fue de 2.8% anual en este lapso (Calva, 1988).

Para la década de los ochenta, y particularmente a partir de 1982, la situación de la producción y el consumo de alimentos se agrava. Se observó una declinación constante en la producción de los diez cultivos principales, que representan el 77% de la producción agrícola total, así como de la carne, la leche y el huevo

(Knockenbauer, 1990). Los rendimientos por hectárea del maíz y el frijol se redujeron en forma acentuada entre 1981 y 1989. Esta situación generó un aumento importante de las importaciones de alimentos básicos entre 1982 y 1988, que de acuerdo con Knockenbauer (1990), fue 44 veces mayor que en los años sesenta. Tal como lo sostienen Calva (1988) y Romero (1990), la nueva crisis agrícola ha acentuado la dependencia del mercado externo en materia alimentaria, no solamente en granos sino en otros alimentos básicos tales como leche en polvo, pollo y granos forrajeros.

El patrón de crecimiento descrito en los párrafos anteriores fue promovido por una estrategia aplicada por el gobierno mexicano desde los años cuarenta para modernizar el sector agrícola. Esta estrategia, basada en la ampliación acelerada, desde 1945, de la superficie cosechada y en la intensificación de cultivos en las áreas de irrigación, tuvo fuertes efectos sobre la ya existente dicotomía entre la agricultura comercial y la agricultura de subsistencia, o como otros autores las han denominado, la agricultura capitalista y la agricultura campesina (Barkin, 1982a; Echenique, 1978; Esteva, 1982; Warman, 1978). El desarrollo agrícola bipolar privilegió a las grandes empresas agrícolas en detrimento de la agricultura típicamente campesina.

El proceso de transnacionalización de la agricultura introdujo otra nueva tendencia en el sector agrícola nacional durante los años sesenta, al abrirse una nueva frontera productiva, originada en la política estadounidense de incrementar las importaciones de ganado provenientes de México. Este factor originó lo que Barkin (1982) ha denominado "ganaderización" de la agricultura mexicana. Esto quiere decir que las tierras que se dedicaban antes a la agricultura se destinaron entonces a la producción pecuaria. Como resultado, grandes extensiones de tierras agrícolas fueron desde entonces usadas para el pastoreo. Asimismo, las tierras previamente empleadas para el cultivo del maíz y del frijol fueron sustituidas por el cultivo del sorgo, que se orienta principalmente a objetivos comerciales y a la producción de alimentos balanceados. El argumento empleado fue que el sorgo tenía rendimientos más elevados que los del maíz, por lo que desde mediados de los años sesenta recibió una más alta prioridad que el maíz en los programas de crédito del gobierno mexicano (Warman, 1981).

La influencia de las empresas transnacionales en el desarrollo de esta nueva frontera hizo posible el surgimiento de las industrias de alimentos balanceados. Estas industrias han transformado el

estilo de administración y producción de las empresas agrícolas, que actualmente se diseñan con base en el sistema internacional, y se han abandonado los sistemas de producción tradicionales (Bar-kin y Suárez, 1982). Sin embargo, como resultado de la crisis económica de los años ochenta, algunos autores afirman que la agricultura experimenta también un proceso de "desganaderización" provocado por la contracción de la demanda de estos productos y por la profundización de la crisis agroalimentaria, y que se explica por el deterioro del poder adquisitivo de grandes sectores de la población que ha reducido la demanda de productos pecuarios (Espejo, 1988; Romero, 1990).

La diversificación agrícola fue una práctica introducida por el gobierno en la década de los sesenta. La selección de nuevos cultivos se hizo sobre la base de su valor comercial en relación con el mercado internacional. De esta forma se intensificó la producción de frutas y verduras y se abandonaron los cultivos tradicionales no rentables. Sin embargo, cabe destacar que la crisis agrícola de los años ochenta no ha afectado por igual a todos los cultivos. Distintos grupos de cultivos como las oleaginosas, los forrajes, las hortalizas, los frutales y otros cultivos industrializables mostraron un comportamiento económico positivo durante los primeros años ochenta, por los avances de los procesos de ganaderización, agroindustrialización y transnacionalización del agro mexicano (Romero, 1990).

Otro factor que contribuyó al decremento en la producción agrícola desde la década de los sesenta, fue la política de estabilización de tierras cultivables y la no apertura de más tierras nuevas para el cultivo. Esta medida se combinó con el abandono de tierras de irrigación, dada la falta de inversiones para hacerlas productivas. Durante los años ochenta esta situación se acentuó debido al estancamiento de la superficie cosechada, particularmente la superficie de temporal destinada al cultivo de alimentos básicos, que se constituyó así en el principal motivo de la pérdida de dinamismo de las actividades agrícolas (Romero, 1990).

Los esfuerzos del Estado mexicano por modernizar la agricultura comercial originaron la expansión de la producción industrial de los insumos necesarios para la agricultura de irrigación. Esta política no estuvo complementada por medidas políticas para dinamizar la agricultura de temporal, que supuestamente debería producir para el mercado interno. El descenso en la productividad agrícola durante los años ochenta, se relaciona también con la marcada disminución en la aplicación de insumos mejorados tales

como: fertilizantes, que en el período 1985-1989 declinaron en 14.5%; semillas certificadas, que disminuyeron 28.8% entre 1982 y 1989; plaguicidas, que se redujeron en 19.8% entre 1981-1982 y 1988-1989, y la liberación de insectos benéficos para el control de plagas que declinó en 54.5% en ese período (Calva, 1991).

El aumento de la dicotomización que ha experimentado la agricultura mexicana plantea una situación muy peculiar. Por un lado, existe una oferta insuficiente de productos agrícolas para satisfacer la demanda básica de la población y, por el otro, la importación de granos básicos se concibe como la práctica permanente para resolver esta insuficiencia (Del Valle, 1982). Además de los costosos efectos de las importaciones en términos de infraestructura y de soberanía política, existe una inapropiada infraestructura distributiva que origina que las importaciones se aprovechen al máximo (Warman, 1981).

A fines de la década de los setenta el Estado mexicano decidió aplicar una nueva política para la redinamización de la agricultura, que se planteó a través del Sistema Alimentario Mexicano (SAM). Esta nueva orientación hizo posible, durante 1981-1982, alcanzar una tasa de crecimiento positiva en la producción agrícola. Este crecimiento, según sostiene Mújica (1982), se debió principalmente a la producción de maíz en tierras no irrigadas, que fue inclusive más elevada en rendimientos y producción que en las tierras irrigadas. Dicho crecimiento se originó en el alto porcentaje de recursos financieros que destinó el Estado a la agricultura temporalera que, sin embargo, no estuvo acompañado de otras medidas que permitieran una real dinamización de este tipo de agricultura. Con todo, el incremento en la producción interna de maíz ha estado acompañado también por un incremento en las importaciones de este grano. Esta situación se debió a la reorientación que se dio al uso del maíz, que desde entonces se emplea también como elemento básico en la industria de alimentos balanceados, siguiendo el patrón norteamericano.

La intensificación de la actividad pecuaria en México desde la década de los sesenta ha generado una contradicción para el sector agrícola, expresada en la competencia que se genera entre la producción de cultivos para el consumo humano y la producción de cultivos para la alimentación animal.

Durante el período 1970-1977, una de las principales áreas de crecimiento del sector agrícola fue la producción de forrajes. En términos generales, las tierras de cultivo de sorgo, avena y alfalfa

se incrementaron durante ese período, mientras que las tierras cultivadas de maíz, frijol y arroz decrecieron considerablemente. El promedio anual de producción de sorgo entre 1965-1969 fue de 1.7 millones de toneladas; se incrementó a 2.8 millones de toneladas entre 1970-1973 y alcanzó 4.3 millones de toneladas entre 1974-1977 (Echenique, 1978). La introducción del patrón de alimentación animal, basado en mezclas concentradas, elaboradas a partir de oleaginosas, soya y sorgo, han modificado los patrones de cultivo y han llevado a una sustitución en casi todo el país del cultivo del maíz y el frijol (Arroyo y Weissbluth, 1987).

La competencia entre la producción para el consumo humano y el consumo animal se expresa tanto en forma directa como indirecta. La indirecta se genera por la competencia por recursos tales como tierras, agua y fertilizantes, y la directa cuando los cereales, que son propios para la alimentación humana, se destinan al consumo animal. Esta estrategia ha traído como consecuencia cambios en el uso de la tierra, en el patrón tecnológico de la producción y en el modelo de consumo. Según estimaciones elaboradas por el Programa Nacional de Alimentación (PRONAL, 1983-1988), en relación con el destino de los principales cereales (maíz, trigo y sorgo), el consumo animal de éstos es y seguirá siendo en el mediano plazo tan importante como su consumo humano. Así, del total de toneladas de cereales que se estimaba se consumirían en 1984 (27 020 millones de toneladas), 12 495 millones se destinarían al consumo humano, mientras que 11 280 millones de toneladas se emplearían para el consumo animal. Es decir, que consumo humano y animal de cereales han adquirido y seguirán teniendo en el mediano plazo prácticamente la misma importancia.

Esta competencia ha generado en el país discusiones sobre alternativas de producción pecuaria más apropiadas que permitan, por un lado, una distribución racional de las tierras para la actividad agrícola y pecuaria, y por otro, el uso de nuevos productos para la alimentación animal distintos de los que son propios para la alimentación humana. En relación con el primer planteamiento, Montes de Oca y Rello (1982) han sugerido la adopción de una alternativa de producción pecuaria intensiva para el caso del ganado bovino y del desarrollo de la actividad avícola y porcícola, como una forma más eficiente de producir carne para la población. Con respecto al segundo objetivo, desde la década de los setenta (Preston y Viniegra, 1977; Olguín, 1978; De la Torre, 1981) ha sido planteada la alternativa de reutilización de esquil-

mos y subproductos agrícolas tales como los del maíz, trigo, arroz y caña de azúcar, para la elaboración de alimentos balanceados, con objeto de salvaguardar los principales contenidos de estos cultivos para la alimentación humana.

Los problemas que afectan al sector agropecuario en México no son en forma alguna recientes. Los problemas que ya existían en la agricultura mexicana se agudizan en el período 1966-1974 y se vuelven críticos a partir de 1982. Entre los elementos que definen la crisis del sector agrícola pueden quedar sintetizados los siguientes: *a*) pérdida de dinamismo de la producción agrícola; *b*) existencia de un amplio sector tradicional con muy baja productividad, que limita la oferta interna de alimentos y de insumos industriales y que al mismo tiempo presiona sobre los precios; *c*) estancamiento de la producción de granos básicos; *d*) un sector moderno que crece muy lentamente y que cada día tiene más dificultades para encarar el crecimiento demográfico, así como para ofrecer las divisas necesarias para apoyar el proceso de industrialización; *e*) agravamiento de las condiciones adversas que aquejan al sector campesino mayoritario; *f*) caída de la demanda interna de alimentos determinada por la contracción de los salarios reales, y *g*) transferencias netas en beneficio del sector industrial con pérdida de oportunidades de capitalización del sector agropecuario. Estos factores han conducido al país a una pérdida de la autosuficiencia alimentaria, a una acentuación de la dependencia y a un deterioro nutricional de la población.

La agricultura, que contribuyó significativamente al desarrollo de la economía nacional en las primeras etapas de la industrialización, gracias al aporte de las divisas que se requerían para importar bienes de capital, en el momento actual se ha convertido en utilizadora neta de divisas que contribuyen a abultar aún más la enorme deuda externa del país (Arroyo y Waissbluth, 1987). La crisis del sector agrícola no es coyuntural, sino estructural. Su solución depende, por lo tanto, de una nueva estrategia de desarrollo que sea congruente con la satisfacción de las necesidades de la población y que ejerza un control sobre las orientaciones de la agricultura comercial.

Las alternativas que se han planteado para resolver la crisis de la agricultura mexicana han tendido a polarizarse entre la agricultura capitalista y la agricultura campesina. Sin embargo, algunos autores (Esteva, 1978; Toledo *et al.*, 1981 y González, 1978), han planteado que lo más factible sería la adopción de una estrategia intermedia que se oriente a la producción de lo que se requiere,

sin esperar que se abandone la estrategia de exportaciones o que se destinen las tierras irrigadas a resolver el problema de la oferta. Al respecto, Calva (1988) opina que el sano estímulo a las exportaciones agrícolas no excluye el logro de la autosuficiencia alimentaria. Lo que se requiere, por lo tanto, es una estrategia para el desarrollo del sector agrícola que estimule las tierras hasta ahora no explotadas tales como las de temporal y las zonas áridas, y que las haga productivas de granos básicos. Calva (1988) afirma que México cuenta con los principales elementos para ser autosuficiente en la producción de alimentos, entre los que destacan: recursos naturales y humanos, acervo de capital y potencial tecnológico que permitirían recuperar la autosuficiencia alimentaria y, además, aumentar la producción de mercancías agrícolas destinadas a la exportación.

La vía para alcanzar la autosuficiencia alimentaria radica entonces en la aplicación de una nueva estrategia para el desarrollo de la agricultura que privilegie la utilidad pública de las tierras agrícolas; que estimule y otorgue los medios para apoyar su desarrollo; que dinamice las tierras irrigables y las de temporal; que destine a la agricultura las tierras que son empleadas para la ganadería extensiva, y que desarrolle y adapte tecnologías para elevar los rendimientos agrícolas. La nueva estrategia para el sector agrícola deberá considerar tanto la producción de cultivos básicos para el mercado interno, que aseguren la autosuficiencia alimentaria y por ende la soberanía, como una estrategia para intensificar las exportaciones agrícolas hacia los mercados internacionales.

En este esquema queda por definir el papel que corresponderá a la capacidad científica y tecnológica. La adquisición y aplicación de esa capacidad debe asumir una racionalidad diferente de la tecnología agrícola actual, y que ha estado determinada por los requerimientos de productividad, mecanización e insumos de capital de la agricultura comercial.

2.2 La industria alimentaria

Diversos autores (Rodríguez *et al.*, 1982; Montes de Oca, 1982; Unger y Márquez, 1981) coinciden en señalar que la industria alimentaria en México es un sector muy heterogéneo, tanto en términos de su tamaño y productividad, como en relación con el origen de su capital y el nivel de la producción. La heterogeneidad

de las empresas alimentarias también se expresa en las capacidades tecnológicas instaladas, siendo poco significativa en las empresas alimentarias tradicionales, mientras que las empresas grandes y gigantes pueden caracterizarse como tecnológicamente dinámicas. La industria alimentaria afronta también el mismo dualismo que el sector agrícola, que se origina en el modelo de industrialización que se siguió desde la década de los cuarenta: un gran sector tradicional que genera solamente un pequeño porcentaje de la producción, y un sector moderno que absorbe la gran proporción de la producción total.

Del análisis de tres diferentes ramas de la industria alimentaria,¹ Unger y Márquez (1981) concluyen que el dinamismo tecnológico no es una característica de las ramas analizadas. La asimilación tecnológica es de un nivel artesanal y no responde a una política tecnológica explícita. Los bienes de capital empleados en estas ramas son muy simples y se han introducido solamente cambios técnicos mínimos.

Rodríguez *et al.* (1982) afirman que en México, en relación con la tecnología alimentaria, existen tres tipos de desarrollo con diferentes grados de complejidad tecnológica: *a*) tecnología empírica que se practica en forma familiar y artesanal; *b*) tecnología empleada en la pequeña y mediana industria que utiliza en gran parte conocimientos del avance científico, y *c*) tecnología empleada en la gran industria basada en el avance tecnológico, que es fundamentalmente de importación. La industria alimentaria, en gran parte, afirman los autores, está basada en la incorporación de tecnología importada, y las innovaciones que se han desarrollado en esta industria durante la década de los setenta han consistido en presentar los productos bajo nuevas formas o nuevos envases.

En relación con el tipo de productos que genera el sector alimentario, se pueden distinguir dos grupos de productos: *a*) el que se caracteriza por tasas muy elevadas en el crecimiento de la demanda, principalmente proveniente de la población de altos ingresos, y *b*) el que observa tasas moderadas de crecimiento. Esto ha generado un dinamismo heterogéneo del sector debido a que la producción de bienes de consumo suntuario se ha incrementado,

¹ Unger y Márquez basan sus conclusiones en un estudio sobre las modalidades concretas que caracterizan y condicionan las decisiones tecnológicas en 34 empresas pertenecientes a tres rubros de la industria alimentaria: aceites y grasas vegetales, galletas y pastas, y frutas y legumbres. Estas empresas se caracterizan por una fuerte dependencia tecnológica del exterior en materia de equipo y maquinaria.

mientras que la industrialización de alimentos de relevancia social ha crecido a un ritmo muy lento (Márquez, 1982).

En efecto, Montes de Oca y Escudero (1981) afirman que de un análisis de las 40 ramas que constituyen el sector alimentario, la tendencia prevaleciente está orientada a la producción de alimentos suntuarios, es decir, de alimentos que no son necesarios para una dieta apropiada. La producción de colorantes y saborizantes artificiales, así como la producción de frituras son las ramas de la industria alimentaria que han experimentado el dinamismo más alto.

De los análisis de Montes de Oca (1982) y Rodríguez *et al.* (1982) se desprende que no existe una coincidencia entre las ramas más dinámicas del sector alimentario, concebidas en términos de su tasa de crecimiento, y las ramas que contribuyen con la mayor proporción a la producción total del sector. Sin embargo, de estos dos análisis puede afirmarse que existe una tendencia más dinámica en aquellas ramas que producen bienes alimentarios suntuarios.

Es importante mencionar aquí el papel que juega en el sector alimentario el capital extranjero. En relación con otros sectores de la economía, este sector tiene una menor participación de empresas extranjeras que otros sectores productivos (Unger y Márquez, 1981). En 1970, la proporción de la producción alimentaria proveniente de empresas extranjeras era de 21.5%, mientras que en la industria manufacturera esa proporción era de 35%. Sin embargo, Unger y Márquez (1981) subrayan que esas cifras sesgan la realidad de ciertas ramas alimentarias tales como café, gomas de mascar, gelatinas, alimentos concentrados, leche concentrada, condensada y evaporada y alimentos balanceados, en las que el control de las empresas transnacionales es mayoritario.

Concretamente, en relación con la industria de alimentos balanceados para animales, existen en el país 49 empresas, de las cuales 6 son filiales de empresas extranjeras (Anderson Clayton, Ralston Purina, International Multifoods y Carnation, Nestlé y Adela). Tres de estas empresas controlaban en 1975 el 51% de la producción total de alimentos balanceados. El Estado mexicano participa solamente con 10% de la producción en esta rama (Carrasco, 1982).

Si se considera solamente a la industria alimentaria, el monto de la participación de las inversiones extranjeras en relación con todo el sector es de 70% (Montes de Oca, 1982). De las 40 ramas que integran el sector, las empresas transnacionales están presentes en 27 (*El Día*, 1983). Durante la década de 1960-1970 el valor

de las inversiones extranjeras en el sector alimentario creció en 372%. La participación de las inversiones estadounidenses constituye entre el 80% y 90% del total de inversiones extranjeras, siguiéndole en importancia Suiza, Canadá, Italia y Suecia (Rodríguez *et al.*, 1982).

Aún existe un grupo de ramas en las que la participación de empresas transnacionales no está presente. Dichas ramas están fundamentalmente orientadas a la producción de productos tradicionales o autóctonos, tales como tortillas, miel, harina de maíz, y otros productos cuya tasa de crecimiento ha sido más baja que la del promedio de esta industria, por lo menos en el período 1970-1975. Estas ramas alimentarias se caracterizan por un fuerte control estatal, como es el caso de la harina de maíz, la harina de trigo, y la producción de azúcar. Una de las razones que explican la ausencia de empresas transnacionales en esas ramas, es que se orientan a la producción de bienes de consumo popular, que no son tan competitivos en términos de ganancias. Sin embargo, como resultado de la política de privatización de sectores importantes de la economía, la conformación de estas ramas alimentarias está modificándose, ya que algunas de ellas, como el caso de la producción del azúcar, han pasado paulatinamente a manos del sector privado.

El principal problema que afronta la industria alimentaria radica en su creciente orientación hacia bienes de consumo suntuario. Esta orientación ha sido promovida por la inserción de las empresas transnacionales en el sector, las cuales han transferido los hábitos alimentarios de los países industrializados a través de la oferta de esos productos (Montes de Oca y Escudero, 1981). Es por ello por lo que se hace necesaria una reorientación y dinamización de las ramas de la producción de alimentos que satisfagan los requerimientos nutricionales de la población, mediante un mayor control del Estado y el abandono de los patrones de consumo que han sido impuestos desde afuera. En el sistema alimentario prevaleciente en México, predomina la producción de alimentos de bajo procesamiento. Este sistema es aún tradicional, si se le compara con el sistema imperante en otros países desarrollados, en los que predomina un patrón alimentario basado mayoritariamente en alimentos procesados. Es de ese sistema alimentario tradicional del que debería partirse para reorientar los patrones de consumo y el desarrollo de la industria alimentaria nacional y en el cual debería enmarcarse el desarrollo y aplicación de la biotecnología para la industria alimentaria.

2.3 Situación nutricional de la población

Las condiciones de nutrición de la población se explican por una serie de factores, entre otros los económicos, los problemas de producción y distribución de alimentos, la educación respecto de hábitos alimentarios, la salud y el medio ambiente, así como toda una gama de problemas técnicos y políticos. En la actualidad, la forma como se conjugan todos estos factores define una situación de desnutrición social, por lo que la solución a este problema implicaría una acción integral para afrontar los diferentes factores señalados.

Las condiciones generales de nutrición de la población en México son difíciles de analizar, debido a que la información de que se dispone no es muy detallada. Entre los estudios más recientes sobre este tema Fuentes Aguilar (1983) afirma que el problema alimentario de México es serio, ya que 30% de la población se encuentra en los niveles de subsistencia, y cerca de 55% del total de la población ha desarrollado una desnutrición crónica. Esto significa que solamente 15% de la población puede estar considerada como bien alimentada. La situación nutricional de la población no parece haber mejorado desde mediados de los años setenta, cuando Nolasco y Zamora (1977) señalaban que el 82% de la población sufría de diferentes grados de desnutrición. La desnutrición era un fenómeno asociado al sector campesino, pero debido al incremento de las migraciones rural-urbanas, en la época actual es tan frecuente en los sectores urbanos como en los rurales. Por el contrario, a partir de 1982, cuando se inicia lo que algunos autores han denominado "la nueva crisis agrícola" (Calva, 1988), el consumo aparente de alimentos por persona disminuye, lo que hizo que en 1986 fuese inferior en 20.9% al existente en 1981 (Calva, 1988); esto provocó un incremento en la tasa de desnutrición infantil grave que fue de 7.7% en 1979 a 15.1% en 1989 (Calva, 1991).

El estudio realizado por COPLAMAR (1982) revela que la desnutrición es causada por la falta de equilibrio en los contenidos nutricionales de la dieta de la población. Este problema, fundamentalmente determinado por una desigual distribución del ingreso, se expresa en la falta de equilibrio entre el alimento de origen animal y el de origen vegetal. En la población rural, entre la que se encuentran los grupos sociales menos favorecidos, la alimentación se caracteriza por pocas proteínas de origen animal e insuficientes calorías de origen vegetal. Aun cuando —según lo

manifiesta ese estudio— el equilibrio entre las proteínas y la energía es más o menos regular en la población urbana, existe otro conjunto de contenidos nutricionales tales como vitaminas y minerales, que no están apropiadamente incluidos en la dieta de la población urbana, lo que origina también una situación de desnutrición en este sector.

Se han elaborado diversas recomendaciones (COPLAMAR, 1982; FAO-OMS, 1975; Martínez *et al.*, 1977; PRONAL, 1983), en las que se definieron los contenidos y tipos de alimentos necesarios para lograr una dieta equilibrada. Sin embargo, muchas de las sugerencias contenidas en esas propuestas requerirían también de una solución al problema de la desigual distribución del ingreso, a los problemas de distribución de alimentos, a las pérdidas por almacenamiento, así como de hacer más productiva la agricultura de temporal. Es decir, que el problema de la desnutrición sólo podría resolverse con la adopción y aplicación de una nueva estrategia integral de desarrollo.

Si se considera que en el corto y mediano plazos todos esos problemas de orden estructural difícilmente serán solucionados, existen otras medidas que podrían adoptarse para mejorar la dieta de la población, fundamentalmente de aquella que experimenta los problemas más graves de desnutrición. El mejoramiento de la calidad de los alimentos que consume la población, así como el incremento de los rendimientos de los cultivos tradicionales, son dos medidas que fueron sugeridas desde la década de los setenta (Martínez *et al.*, 1977). Estas medidas estarían íntimamente relacionadas con una estrategia de apoyo a la agricultura de temporal, a la que se hacía referencia en el primer inciso de este apartado. Dicha estrategia estaría basada en el mejoramiento de la calidad de los productos o cultivos que tradicionalmente consume la población rural. Por consiguiente, se requeriría de mejorar las técnicas de cultivo de maíz y frijol en zonas de temporal, así como aumentar el contenido proteico de estos granos que, combinados con otras fuentes proteicas y de vitaminas de origen vegetal, podrían mejorar el equilibrio de la dieta de la población rural e inclusive de la urbana. Navarrete *et al.* (1977) sugerían ya la conveniencia de analizar las posibilidades de mejorar la eficiencia proteica de la dieta, añadiendo proteínas y aminoácidos obtenidos por medios sintéticos y biosintéticos. Surge aquí otra demanda que podría ser atendida por los desarrollos biotecnológicos actuales.

2.4 Políticas alimentarias gubernamentales

A partir de la década de los setenta el gobierno mexicano ha diseñado y aplicado cuatro planteamientos de política en relación con la producción alimentaria. Entre 1970-1976 se aplica el Programa Nacional de Alimentación, que estuvo orientado a coordinar diferentes acciones para mejorar la estructura nacional de consumo, proteger a los grupos más vulnerables, estimular la investigación alimentaria y coordinar la formulación y aplicación de una política y programas para satisfacer las necesidades nutricionales de la población (Ramírez *et al.*, 1975).

Entre 1976-1982 se instituye un nuevo instrumento de política denominado Sistema Alimentario Mexicano (SAM), con el que se pretendía resolver dos problemas centrales: 1) la alimentación de 35 millones de mexicanos, principalmente de la población desnutrida que se localiza en las regiones de temporal y en los minifundios, y 2) reducir las importaciones de granos y evitar que el uso de las divisas provenientes de las exportaciones petroleras se destinara a la importación de alimentos.

El principal objetivo de esta estrategia política era el logro de la autosuficiencia alimentaria, específicamente en granos básicos y la reducción, por lo tanto, de la creciente dependencia del país respecto de la producción norteamericana. Esta estrategia pondría especial atención a la redinamización de la agricultura de temporal, mediante una alianza entre los campesinos y el Estado que garantizara un mínimo de beneficio para el productor. El Estado planteaba realizar este propósito mediante una infraestructura tecnológica y fertilizantes que incrementaran los cultivos de las tierras de temporal. Con estos planteamientos se perseguía también la autosuficiencia tecnológica en las zonas rurales, nuevos patrones de consumo y la inclusión de alimentos tradicionales y de alimentos no convencionales en la dieta de la población.

Sin embargo, la estrategia planteada por el SAM fue calificada por algunos de sus críticos (Caballero y Zermeño, 1981; Díaz Polanco, 1981), como una estrategia productivista, muy lejana de soluciones estructurales para la crisis del sector agropecuario. En el planteamiento político del SAM no estaban considerados los mecanismos para disminuir o aminorar el poder económico de las empresas transnacionales, lo que hacía difícil que las empresas públicas o mixtas pudieran competir en los mercados. En síntesis, el SAM no logró los objetivos que se propuso. Si bien es cierto que

entre 1981-1982 se incrementó la producción de maíz, no se rectificó la estrategia bimodal (Rello, 1986). Es decir, se siguió apoyando a la agricultura comercial en desmedro del sector campesino, por lo que el propio dualismo de la agricultura actuó como neutralizador de los esfuerzos encaminados a redinamizar al sector campesino. El logro de la autosuficiencia alimentaria no implica únicamente la aplicación de subsidios o la aplicación de tecnología moderna, sino la adopción de políticas de control en la producción alimentaria.

En el período presidencial de Miguel de la Madrid (1983-1988), se aplicaron dos mecanismos de política orientados al sector agroalimentario: el Programa Nacional Alimentario (PRONAL) y el Programa Nacional de Desarrollo Rural Integral (PRONADRI). El primero planteaba mecanismos para apoyar a las pequeñas y medianas unidades productivas así como a la economía campesina. Su principal postulado era la soberanía alimentaria, un nuevo concepto diferente al usado previamente en el SAM y que correspondía al de autosuficiencia alimentaria. La soberanía es entendida como la preservación y salvaguarda para la nación de las decisiones en todos los aspectos sustanciales del bienestar, la libertad y la seguridad de los mexicanos (*El Día*, 1983).

El PRONAL es más selectivo que el SAM en sus propuestas, ya que plantea concentrar sus esfuerzos en regiones muy concretas del país, además de estimular solamente un grupo muy reducido de productos agrícolas: maíz, trigo, frijol, arroz, azúcar y aceites y grasas vegetales.

Por su parte, el PRONADRI, que estuvo vigente durante el período 1985-1988, planteaba como su meta fundamental alcanzar para 1988 la autosuficiencia alimentaria en maíz y azúcar, así como consolidar la de arroz y trigo. Según Arroyo y Waissbluth (1987) esas metas no se lograron, salvo excepciones como el azúcar. En el caso del azúcar, la autosuficiencia se debe en gran parte a la reducción de las importaciones de los países desarrollados, dada la existencia de sustitutos de este producto en el mercado. Se continuarán importando crecientes cantidades de pastas y aceites vegetales, sorgo, leche, huevo y carne bovina. Es decir, que aún las metas limitadas establecidas por el PRONADRI, si se les compara con las planteadas en el PRONAL, no fueron alcanzadas.

Para el presente gobierno, los planteamientos de política alimentaria están contenidos en el Programa Nacional de Solidaridad (PRONASOL) y en el Programa Nacional de Modernización

del Campo (PRONAMOCA) de 1990-1994. Los objetivos del PRONAMOCA son incrementar la producción y la productividad en el campo, elevar el nivel de vida de la familia rural, asegurar el abasto y la soberanía alimentaria dentro de un esquema de apertura comercial, alentar el potencial exportador, eliminar las restricciones que pesan sobre el sector para la asignación de recursos, incorporar las tierras ociosas o insuficientemente explotadas y conservar los recursos naturales (SARH, 1990). Por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, plantea como estrategia agropecuaria superar la posición deficitaria del país en la producción de alimentos y satisfacer las necesidades crecientes de la población con el fin de recuperar la soberanía en materia de alimentos.

En este nuevo planteamiento de política agropecuaria destaca el papel que se asigna a la biotecnología, a la que se considera necesaria para generar nuevas variedades vegetales con mayor resistencia genética a plagas, enfermedades, climas y suelos adversos. Sin embargo, los actuales planteamientos de política alimentaria están siendo afectados por la política de libre comercio promovida por el gobierno mexicano, que podría repercutir de manera inversa sobre la autosuficiencia y soberanía alimentarias.

Al sintetizar las características más generales de la política gubernamental en el ámbito alimentario vigente durante los últimos veinte años, se ha tratado de mostrar que los planteamientos contenidos en los planes de política, tales como la satisfacción de las necesidades básicas de la población y la recuperación de la autosuficiencia alimentaria, en la práctica no han sido logrados. La situación de crisis que afronta el sector agroalimentario, los padecimientos nutricionales de la población y la dependencia tecnológica de la industria alimentaria son factores que, a pesar de los planteamientos de política reseñados, permanecen prácticamente inalterados.

Los elementos que se han mencionado esquemáticamente en este capítulo en relación con la problemática alimentaria de la población y con las estrategias que ha planteado el Estado para solucionarlas, permiten integrar un marco de referencia para valorar la importancia que podría adquirir la biotecnología para afrontar los principales problemas nutricionales y de producción de alimentos en México.

2.5 Demandas del sector agroalimentario para el desarrollo de la biotecnología

Los planteamientos de política gubernamental en los últimos veinte años, han estado orientados en forma explícita al logro de la autosuficiencia y de la soberanía alimentarias. Si se observa la situación agroalimentaria imperante en el país, surgen una serie de argumentaciones en torno a la importancia que adquiriría un desarrollo biotecnológico orientado a contribuir a solucionar la crisis de ese sector y a orientarlo hacia los objetivos generales de autosuficiencia y soberanía, planteados por el mismo Estado mexicano. Actualmente, parte de las necesidades podría ser satisfecha mediante la aplicación de técnicas, procesos y productos derivados de la biotecnología, aprovechando tanto los recursos naturales existentes en el país como la capacidad de investigación instalada en los centros de educación superior.

Las argumentaciones que se plantean a continuación se derivan de los principales elementos que conforman la actual crisis agroalimentaria, así como de los efectos que está sufriendo este sector por los avances biotecnológicos que se producen en el mundo desarrollado.

1) El principal problema que experimenta el sector agroalimentario es la insuficiente producción de granos básicos, principalmente maíz y frijol, para satisfacer la demanda de la población. Dada la estructura actual de este sector, se hace necesario estimular la producción de granos básicos en las regiones poco explotadas en el país, entre ellas las zonas de temporal, las zonas áridas y las tierras del trópico húmedo. Se requiere, por lo tanto, de tecnologías adecuadas para hacer técnicamente factible y económicamente viable la producción agrícola en estas condiciones, tecnologías que impliquen bajas inversiones de capital y un uso muy reducido de insumos agrícolas.

Si se consideran las potencialidades de la biotecnología, ésta podría contribuir a la explotación de las zonas mencionadas generando especies que puedan incrementar su productividad en tierras no irrigadas y que puedan ser menos dependientes de los costosos insumos agrícolas. La biotecnología, mediante las técnicas de ingeniería genética, podría generar especies más resistentes a la sequía o a la excesiva humedad; especies capaces de fijar su propio nitrógeno, así como especies resistentes a pestes y plagas, con lo que se aseguraría un incremento en la producción y una

adecuada oferta de granos básicos para satisfacer el mercado interno.

Dada la actual distribución desigual del ingreso y las pocas posibilidades que tienen las clases mayoritarias de adquirir los alimentos necesarios para una dieta equilibrada, sería importante que mediante las técnicas biotecnológicas pudiese también mejorarse el contenido nutricional de los granos básicos, fundamentalmente del maíz y del frijol. Asimismo, la investigación biotecnológica podría mejorar las especies de otros cultivos relevantes para la alimentación y que ya forman parte de la dieta tradicional de la población, tales como el amaranto y otras leguminosas.

2) La actual situación de oferta de alimentos en el país registra también un déficit de otros alimentos importantes para la dieta de la población, tales como productos lácteos, pescado, aceites y grasas vegetales. Las técnicas biotecnológicas de fermentaciones, el mejoramiento genético de semillas oleaginosas, así como la producción de concentrados proteicos a partir de recursos pesqueros, son algunas de las potencialidades que podría ofrecer la biotecnología para mejorar la producción de estos alimentos.

3) El déficit existente de alimentos prioritarios podría también aminorarse mejorando la calidad nutricional de aquellos alimentos que tradicionalmente consume la población, tales como tortillas, atoles, etcétera. La intensificación de la producción industrial de aminoácidos de origen sintético y biosintético podría ser una vía para mejorar los alimentos mencionados y elevar sus contenidos nutritivos. Asimismo, la producción de proteínas de fuentes no convencionales, tales como las proteínas de origen unicelular producidas a partir de desechos agroindustriales o a partir del petróleo, o las proteínas provenientes de las plantas verdes, podrían contribuir a mejorar el contenido nutricional de los alimentos prioritarios.

Aquí nuevamente las técnicas de fermentaciones y la bioingeniería serían relevantes para impulsar una industria nacional productora de aminoácidos y de proteínas de origen unicelular para la alimentación humana.

4) Tal como se ha señalado en otro apartado de este capítulo, la intensificación de la producción ganadera con la consecuente ganaderización de la agricultura, ha motivado una fuerte competencia entre la producción de cultivos para la alimentación humana y la producción de cultivos para la alimentación animal. Se requiere, por lo tanto, de una racionalización de la explotación

agrícola y de la introducción de alimentos alternativos de alto valor nutritivo para la alimentación animal, bovina, avícola, porcícola y piscícola, que permitan recuperar parte de la producción de granos básicos para la alimentación humana.

Una alternativa interesante está representada por los subproductos y esquilmos agrícolas, tales como el bagazo y las melazas de caña de azúcar, los rastrojos del maíz, trigo y arroz, así como por las mismas excretas animales, que podrían ser empleados tanto como forrajes como para la elaboración de concentrados proteicos para la alimentación animal. Estos subproductos y esquilmos agrícolas representan actualmente un problema tanto económico como ecológico para las zonas rurales del país, ya que se han convertido en un elemento de contaminación de tierras y aguas, con un elevado costo de eliminación.

La valoración de estos subproductos y esquilmos, constituidos fundamentalmente por materiales celulósicos, es potencialmente factible mediante el empleo de tecnologías de fermentaciones, de la tecnología enzimática, de la bioingeniería, así como de la ingeniería genética de microorganismos que buscan formas para su reciclaje productivo.

5) Otro de los problemas importantes que ya empieza a afrontar el sector agrícola del país, es el que se ha generado por la sustitución, en los países desarrollados, de algunos de los productos agrícolas de exportación, principalmente el azúcar y potencialmente el café y el cacao.

Este problema plantea la necesidad de diseñar nuevas estrategias para un uso de esos cultivos, diferente a los usos hasta ahora adoptados. La tendencia en la investigación biotecnológica en el país, debiera por lo tanto orientarse al desarrollo de nuevas industrias a partir de estos cultivos y no a su sustitución por productos que se han generado en los países desarrollados mediante costosos procesos biotecnológicos.

La biotecnología podría contribuir a revalorar las materias primas tradicionales y a convertirlas en productos agroindustriales de mayor valor agregado. En el caso del azúcar, mediante la aplicación de la biotecnología podría generarse una nueva industria sucroquímica y contribuir con las industrias de fermentación.

6) El sector agrícola afronta otro grave problema que se refiere a las pérdidas de granos básicos que se producen durante su almacenamiento. Además de requerirse un mejoramiento en la tecnología de almacenamiento, apropiada para las distintas condiciones climáticas del país, se requiere también de investigación

en fisiología y bioquímica de granos y semillas. Estos enfoques permitirían conocer las propiedades funcionales de los granos y las relaciones que guardan éstos con el hecho de ser atacados por insectos de almacén. Este conocimiento básico en una de las disciplinas que conforman la biotecnología, permitiría en el largo plazo introducir ciertas características genéticas en los granos que los volviera resistentes al ataque de insectos durante el almacenamiento.

7) Como corolario de las aplicaciones potenciales que se podrían dar a través de la biotecnología se plantea, a manera de hipótesis, que la investigación biotecnológica podría adquirir un carácter relevante para ayudar a mejorar la situación agroalimentaria del país. La adopción de orientaciones adecuadas en la investigación, podría llevar a la biotecnología a convertirse en una vía para lograr la autosuficiencia de cultivos básicos, así como para producir alimentos relevantes para el mercado interno y, por consiguiente, reducir las importaciones agrícolas actuales.

La aplicación de biotecnologías permitiría impulsar una política de desarrollo regional, puesto que esta área de aplicación se relaciona fuertemente con las características de los recursos naturales disponibles localmente. El desarrollo biotecnológico podría contribuir a aplicar procesos agroindustriales en regiones específicas mediante la explotación de sus recursos naturales y la oferta de productos alimenticios relevantes para las regiones.

La biotecnología podría asimismo contribuir, en el largo plazo, al cambio del actual patrón agroalimentario imperante y generar tecnologías adecuadas a la agricultura campesina y a la explotación de las zonas de temporal y de zonas extremosas. La hipótesis anterior no implica que la crisis que afronta el sector agroalimentario en el país se solucionará mediante la introducción de la biotecnología. Sin embargo, en el marco de una política gubernamental que efectivamente se oriente a la autosuficiencia alimentaria y al control de la producción alimentaria, la biotecnología podría aportar en el mediano y largo plazos contribuciones significativas.

Lo anterior constituye un conjunto de planteamientos hipotéticos sobre las contribuciones que podría hacer la biotecnología para mejorar la situación agroalimentaria en el país. Sin embargo, es necesario conocer cuáles son las orientaciones que se están dando en la investigación biotecnológica en México, para de ahí poder concluir si las tendencias que se observan contribuyen a resolver los problemas formulados con anterioridad.

CAPÍTULO 3

LA BIOTECNOLOGÍA VEGETAL EN MÉXICO

Introducción

El propósito de este capítulo es analizar las actividades de investigación en biotecnología que tienen aplicaciones potenciales para el mejoramiento de la producción agrícola en México. Se incluye un análisis de las actividades de investigación en biotecnología y su potencial para la producción de cultivos y plantas mediante la aplicación de técnicas para la generación de semillas mejoradas y material vegetativo, así como para mejorar la productividad de las plantas.

La biotecnología vegetal abarca al grupo de técnicas de cultivo *in vitro* y los procesos biológicos para mejorar las propiedades de las plantas. El elemento común en todas estas técnicas es que se trata de operaciones que se llevan a cabo en el tubo de ensayo y utilizando diferentes partes de la planta (tejidos, órganos, células o protoplastos). Los objetivos de esta área de investigación son identificar las capacidades de las plantas y mejorar su producción, elevar sus contenidos nutritivos, desarrollar su resistencia a condiciones extremas y a agentes patógenos, y conservar la gran diversidad de recursos genéticos (Sasson, 1984).

Las aplicaciones y usos de la biotecnología vegetal en las actividades agrícolas pueden agruparse en cuatro grandes secciones, a saber: 1) micropropagación y preservación de germoplasma; 2) mejoramiento genético; 3) cultivo industrial de tejidos vegetales y, 4) fijación biológica de nitrógeno (Robert y Loyola, 1985; Sasson, 1984).

1) La aplicación de técnicas como micropropagación y propagación clonal pretende eliminar las enfermedades y conservar e

intercambiar el germoplasma. El primer objetivo de este campo de investigación es intentar regenerar plantas con enfermedades virales, a través del uso de técnicas de cultivo de meristemos, las cuales se basan en la parte sana de la planta. Esta aplicación no implica que las plantas tratadas se vuelvan resistentes al virus, puesto que éstas, aun después de regeneradas, pueden volver a infectarse.

Por lo que toca a la preservación del germoplasma *in vitro*, se están realizando intentos por ampliar la base genética que de otra manera se reduciría paulatinamente. Este enfoque es particularmente útil con las variedades locales, ya que podría llevar a la supervivencia de muchas variedades que se encuentran en peligro de extinción, especialmente aquellas que se reproducen vegetativamente o que poseen semillas recalcitrantes (Rubluo, 1985).

La micropropagación y la propagación *in vitro* son, ambas, formas modernas de propagación vegetal. Estas técnicas permiten la producción rápida y extensiva de plantas genéticamente idénticas a partir de tejidos, órganos o células de plantas madre altamente productivas.

Durante más de una década, la micropropagación se ha aplicado rutinaria y comercialmente a especies ornamentales, frutales y hortícolas, a especies forestales y palmas. Estas técnicas no pueden aplicarse de manera indiscriminada a todas las especies vegetales y no revisten importancia alguna para aquellas especies que se propagan fácilmente a partir de semillas. No se considera factible su utilización comercial con cereales y otros granos comestibles (Lozoya, 1985a).

La micropropagación se justifica particularmente en el caso de plantas de ornato y horticultivos como la fresa y la papa, las cuales dado su alto valor comercial necesitan estar libres de virus. Estas técnicas también son importantes para la conservación del germoplasma de aquellas especies caracterizadas por la propagación vegetativa o con semillas recalcitrantes, así como para la clonación de especies superiores de lento crecimiento o cuya reproducción sexual, aunque posible, no es deseable debido al nivel de heterogeneidad que presentan, especialmente en el caso de especies arbóreas.

2) El mejoramiento genético de plantas tiene como objetivo la producción de especies más atractivas mediante la aplicación de varias técnicas. Las más importantes incluyen: a) cultivos de anteras, en los cuales los órganos sexuales masculinos se utilizan como tejidos básicos para la micropropagación; b) variación somaclonal,

la cual consiste en utilizar las variaciones genéticas de las células cultivadas; c) selección *in vitro*, la cual permite la selección de plantas con características atractivas a nivel celular, incluyendo tolerancia a herbicidas, salinidad, cambios de temperatura, exceso o falta de agua y enfermedades; d) rescate de embriones inmaduros para promover su desarrollo normal y obtener la progenie de las dos especies cruzadas; e) fusión de protoplastos, que mezcla dos especies muy distantes para obtener una planta híbrida somática, y f) ADN recombinante, una de las técnicas de cultivo *in vitro* más complejas, que consiste en la operación genética a nivel de protoplasto, permitiendo la introducción de información genética a las plantas para proporcionar características específicas (Robert, 1985; Sasson, 1984; Skinner, 1985; Sondhal *et al.*, 1984; Swaminathan, 1984).

El mejoramiento genético es particularmente importante para especies que se reproducen fácilmente a partir de semillas, como es el caso de las plantas gramíneas y leguminosas que constituyen cultivos alimentarios básicos. Esta área de aplicación aún enfrenta muchas limitaciones técnicas y las aplicaciones de sus resultados se verán sólo a largo plazo. Sin embargo, es importante apreciar que el desarrollo mediante técnicas biotecnológicas no sustituirá el fitomejoramiento, puesto que el éxito de la biotecnología vegetal dependerá de una relación cercana con los métodos tradicionales de mejoramiento, así como de los servicios de extensión y comercialización (Sondhal, 1984).

3) La biotecnología vegetal industrial de plantas consiste en cultivos de células vegetales a gran escala y en la producción de compuestos tales como metabolitos secundarios a partir de biomasa vegetal. Esto se logra mediante la suspensión de células vegetales en biorreactores para producir las sustancias requeridas (Sasson, 1984). Estas técnicas de cultivo *in vitro* podrían, con el tiempo, remplazar a los métodos tradicionales para la obtención de sustancias de origen vegetal, las que hasta ahora se han obtenido por extracción o síntesis química. Esta aplicación de cultivo *in vitro* podría tener gran impacto en la exportación de productos del Tercer Mundo, puesto que en el futuro, los países desarrollados podrían producir industrialmente aquellos que se extraía previamente de las plantas importadas de los países del Tercer Mundo o que se importaban después de su obtención en dichos países.

La biotecnología vegetal industrial es particularmente importante para aquellas especies vegetales que resultan comercialmen-

te valiosas por las sustancias que contienen y que poseen un alto valor en los mercados mundiales para la producción de aromas, fragancias, estimulantes, saborizantes y productos farmacéuticos.

4) La fijación biológica del nitrógeno se relaciona con el mejoramiento de las cantidades adecuadas de nutrientes específicos para las plantas. La investigación se lleva a cabo con plantas que poseen asociaciones simbióticas con microorganismos fijadores de nitrógeno y pretende introducir esta asociación en otras plantas (Goodman, 1984). La fijación del nitrógeno es un fenómeno producido por la asociación simbiótica entre las bacterias *Rhizobium* y plantas de la familia *leguminosae*. La importancia de las leguminosas resalta tanto técnica como económicamente, gracias a su capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico en los nódulos de las raíces, formados con bacterias del género *Rhizobium* presentes en la tierra, y para utilizar los compuestos de nitrógeno para el crecimiento (Skinner, 1985)

La fijación del nitrógeno en otras plantas tales como los cereales, promete tener importantes aplicaciones para la agricultura. Esta importancia se basa en la suposición de que si ese proceso tiene éxito, los granos básicos serían entonces capaces de fijar el nitrógeno por sí mismos, lo que mejoraría sus nutrientes y tasas de crecimiento. En el largo plazo, existen planes para generar fijación de nitrógeno no simbiótica por medio de la transferencia de los genes de fijación del nitrógeno provenientes de las bacterias, a las plantas, para lograr una producción de cosechas más eficiente (Sasson, 1984).

Una vez definidas las técnicas y campos de aplicación de la biotecnología vegetal, es pertinente analizar el estado de este campo de investigación en México. Siguiendo la metodología esbozada en la introducción, el análisis de la investigación en biotecnología vegetal considerará los siguientes factores: las características de las instituciones de investigación; los campos de investigación en biotecnología vegetal; las especies que están siendo investigadas y las técnicas utilizadas y desarrolladas; la viabilidad científica y técnica de los procesos estudiados; la factibilidad económica de este campo de investigación; los recursos dedicados a la biotecnología vegetal, y la naturaleza de las relaciones existentes entre los centros de investigación universitaria y el sector industrial. Cada uno de estos elementos será abordado en las secciones subsiguientes de este capítulo.

3.1 Unidades e instituciones de investigación: orígenes y condición actual

La investigación en el campo de la biotecnología vegetal se inició en México en 1969, cuando se firmó un acuerdo de colaboración científica con Japón por un período de cinco años. Como resultado de lo anterior, se creó el primer laboratorio dedicado al cultivo de tejidos vegetales (CTV) en el Centro de Genética del Colegio de Postgraduados de Chapingo. Antes de esto, sólo se había desarrollado un proyecto aislado para el cultivo *in vitro* de maíz en el Instituto Mexicano del Seguro Social. Alrededor de 1972, la empresa japonesa Matsumoto, cuya producción era de plantas de ornato, instaló su laboratorio de investigación de CTV, abriendo así el segundo laboratorio en este campo en México (Villalobos, 1986).

Fue en el laboratorio del Centro de Genética de Chapingo, posteriormente conocido como laboratorio de biotecnología, donde se llevó a cabo la capacitación de varios profesionales en las técnicas de CTV. Antes de 1975, fue visitado por varios investigadores japoneses, quienes alentaron la investigación básica y canalizaron cierto equipo hacia este centro. Hasta ahora, ha sido un centro de capacitación para investigadores que actualmente trabajan en otras instituciones mexicanas. Por ejemplo, fue ahí donde se capacitó a un investigador que posteriormente creó el laboratorio de cultivo de tejidos en la Facultad de Química de la UNAM (Villalobos, 1986). En 1975 ya se había establecido una relación académica entre Chapingo y la International Association of Plant Tissue Culture (IAPTC) (Asociación Internacional de Cultivo de Tejidos Vegetales), y en 1980 se establece la Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos Vegetales como filial de la IAPTC (Robert y Loyola, 1985).

Actualmente, México posee un gran número de instituciones donde se llevan a cabo actividades en el campo de CTV. Es importante señalar que las instituciones que participan en este campo de investigación cubren un espectro amplio, desde un laboratorio en el interior de un departamento, hasta un centro de investigaciones dedicado a este campo. En el cuadro 3.1 se enumeran todas las unidades de investigación, agrupadas según el tipo de instituciones de las cuales dependen. En total, se estudiaron 38 unidades de investigación, incluidas las instituciones donde se aplicaron entrevistas directas, así como aquellas que respondieron al cuestionario por correo.

CUADRO 3.1
UNIDADES DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

<i>Dependencia administrativa</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Siglas</i>
Universidades autónomas	-Depto. de Bioquímica, Fac. de Química, UNAM	FQ-UNAM
	-Lab. CTV, Instituto de Biología, UNAM	IB-UNAM
	-Depto. de Biología Molecular de Plantas, Centro para la fijación del Nitrógeno, UNAM	CEFINI-UNAM
	-División de Ciencias Químico Biológicas, ENEP-Zaragoza, UNAM	ENEP-Z-UNAM
	-Lab. de CTV, Fac. de Ciencias Biológicas, Univ. Aut. de Nuevo León.	FCB-UANL
	-Esc. de Ciencias Biológicas, Univ. Aut. de Baja California	ESCB-UABC
Universidades agrícolas autónomas	-Lab. de Biotecnología, Centro de Genética, Colegio de Posgraduados de Chapingo	CG-CPCH
	-Lab. de Embriogénesis, Centro de Fruticultura, Colegio de Posgraduados de Chapingo	LE-CF-CPCH
	-Lab. de Micropropagación, Centro de Fruticultura, Colegio de Posgraduados de Chapingo	LM-CF-CPCH
	-Sección de Bioquímica, Centro de Botánica, Colegio de Posgraduados de Chapingo	CB-CPCH
	-Lab. CTV, Depto. de Fitotecnia, Univ. Aut. de Chapingo	DF-UACH
	-Lab. CTV, Proyecto FITO-INIA, Univ. Aut. de Chapingo	F-INIA-UACH
	-Lab. CTV, Instituto Mexicano del Mafz, Univ. Aut. Agrícola Antonio Marro	IMM-UAAAN
Centros y universidades federales y estatales	-Lab. CTV, Centro de Inv. en Cultivo de Tejidos, Univ. de Sonora	CICTUS
	-Lab. CTV, Depto. de Biofísica, Esc. Nacional de Ciencias Biológicas, IPN	DF-ENCB-IPN
	-Lab. CTV, Depto. de Botánica, Esc. Nacional de Ciencias Biológicas, IPN	DB-ENCBI-IPN
	-Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral, IPN	CIIDIR-IPN
	-Depto. de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Inv. y Estudios Avanzados-DF	CINVESTAV-DF
	-Centro. de Investigaciones y Estudios Avanzados-Irapuato	CINVESTAV-IRA

CUADRO 3.1
UNIDADES DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL (cont.)

<i>Dependencia administrativa</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Siglas</i>
	-Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental-Zacatepec, Instituto Nacional de Inv. Agrícolas, Forestales y Pecuarias	CAE-Z-INIFAP
	-Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental-Gral. Terán, Instituto Nal. de Inv. Agrícolas, Forestales y Pecuarias	CAE-GT-INIFAP
	-Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental Pabellón, Inst. Nal. de Inv. Agrícolas, Forestales y Pecuarias	CAE-P-INIFAP
	-Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental-Laguna, Inst. Nal. de Inv. Agrícolas, Forestales y Pecuarias	CAE-L-INIFAP
	-Lab. CTV, Programa Nacional de la Papa, Inst. Nal. de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias	PNP-INIFAP
	-Lab. CTV, Depto. de Fitoproducción, Comisión Nacional de Fruticultura	DF-CONAFRUT
	-Lab. de Micropropagación, Instituto para la Educación Tecnológica Agrícola	ISETA
Instituciones descentralizadas	-Depto. de Biología Experimental y Agrícola, Centro de Investigaciones Biológicas	CIB
	-División de Biología de Plantas, Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán	CICY
	-Centro de Investigación y Asistencia Técnica de Jalisco	CIATEJ
Centros internacionales	-Lab. de Fertilización Cruzada, Programa del Trigo, Centro de Investigación y Mejoramiento del Maíz y el Trigo	PT-CIMMYT
	-Lab. de Fertilización Cruzada, Programa del Maíz, Centro de Investigación y Mejoramiento del Maíz y el Trigo	PM-CIMMYT
Unidades públicas de producción	-Lab. CTV, Depto. de Genética, Instituto Nacional del Café	INMECAFE
	-Lab. CTV, Depto. de Floricultura, Comisión Nacional de Fruticultura	FLOR-CONAFRUT
	-Lab. CTV, PROTINBOS	PROTINBOS
	-Centro de Micropropagación del Estado de Oaxaca	CM-OAC
Unidades públicas de producción	-Tequila Cuervo	CUERVO
	-Biogenética Mexicana	BIOGEMEX
	-Compañía Mexicana de Micropropagación	MIPROMEX

FUENTE: CONACYT: *Ciencia y Desarrollo*, nums. 61, 62, 68, 69, 74 y 75, México, 1985, 1986, 1987; COSNET: *Potencial para el desarrollo de la ingeniería genética*, SEP, México, 1984; Robert, M. y Loyola, V. M: *El cultivo de tejidos vegetales en México*, CICY-CONACYT, México, 1985.

Las unidades que pertenecen al sector educativo se dividen, según el tipo de institución, de la siguiente manera: seis unidades que pertenecen a universidades autónomas; siete que pertenecen a universidades autónomas y que sólo trabajan en el área agrícola; 13 dependientes de los centros y universidades federales y estatales, y tres unidades que pertenecen a organizaciones descentralizadas. También existen dos unidades que dependen del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT),¹ y siete unidades situadas en el sector productivo, cuatro de las cuales son públicas y tres privadas.

El cuadro 3.2 enumera otras unidades de investigación que se han identificado en diversas fuentes de información (AMCTV; Lozoya, 1985b; Roca, 1985; y Roca *et al.*, 1986), pero de las cuales no se dispone de información detallada.²

3.2 Campos de investigación en biotecnología vegetal

Los proyectos de investigación que se llevan a cabo en el campo de la biotecnología vegetal se han agrupado según sus áreas de aplicación. Estas áreas son: micropropagación, mejoramiento genético, cultivo industrial de tejidos y fijación biológica del nitrógeno. Además de estas tres áreas relacionadas con el conocimiento aplicado, existe otra más llamada estudios básicos. Es importante apreciar que la biotecnología vegetal no es una disciplina científica independiente, sino un área interdisciplinaria conformada por diversas especialidades.

Como consecuencia de lo anterior, es apropiado incluir el desarrollo de estudios básicos, el cual proporciona la base de los avances futuros en biotecnología. Tales estudios incluyen las áreas de fisiología, bioquímica, microbiología de suelos y genética. Los estudios básicos también incluyen la investigación en biología molecular relacionada con plantas y que sostiene el desarrollo de las técnicas de ingeniería genética.

El cuadro 3.3 enumera las unidades de investigación e indica las áreas de su incumbencia. A partir de este cuadro puede obser-

¹ El CIMMYT, organización que forma parte de una red internacional de centros de investigación agrícola en todo el mundo, originalmente patrocinada por la Fundación Rockefeller, fue el gran promotor de la revolución verde.

² Durante el trabajo de campo se realizaron esfuerzos para establecer contactos con estas unidades. En ciertos casos, fue imposible realizar entrevistas directas y en otros no respondieron al cuestionario postal. Consecuentemente, no existe suficiente información para incluirlas en el análisis.

CUADRO 3.2
UNIDADES DE INVESTIGACIÓN NO INCLUIDAS EN BIOTECNOLOGÍA
VEGETAL

<i>Dependencia administrativa</i>	<i>Unidades de investigación</i>	<i>Siglas</i>
Universidades agrícolas autónomas	Centro de Genética Forestal Colegio de Posgraduados de Chapingo	CGF-CPCH
Centros y universidades federales y estatales	Fondo del Maguey	FM
	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	ININ
	Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental del Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias	CAE-B-INIFAP
	Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental Guerrero, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias	CAE-G-INIFAP
	Lab. de Genética. Centro Nacional de Investigaciones sobre el Azúcar	IMPA
	Unidad Biomédica y de Investigación sobre Medicina Tradicional	IMSS
Instituciones descentralizadas	Comisión Nacional de las Zonas Áridas	CNZA
Unidades públicas de producción	Lab. CTV Tabacos Mexicanos	TABAMEX
Unidades privadas de producción	AGRIPEFOR, S. C. Matsumoto	AGRIPEFOR MATSUMOTO

FUENTE: Robert, M. y Loyola, V. M. (1985), *El cultivo de tejidos vegetales en México*, CIYG-CONACYT. México; Roca, W. M. et al. (1986), *Estado actual de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe. Encuesta 1986*, CIAT, Cali.

vase que la investigación se concentra en el área de micropropagación vegetal, puesto que de las 38 unidades investigadas, 30 utilizaban estas técnicas. Es evidente que las siete empresas incluidas en este cuadro y que producen material vegetal, utilizan exclusivamente técnicas de micropropagación vegetal. La micropropagación es uno de los campos de biotecnología que actualmente ya se aplica comercialmente. Es también significativo que ésta es la única área de investigación en la que muchas unidades

CUADRO 3.3
CAMPOS DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

<i>Unidades de investigación</i>	<i>Micropropagación y conservación de germoplasma</i>	<i>Mejoramiento genético</i>	<i>Biotecnología industrial de plantas</i>	<i>Estudios básicos</i>
FO-UNAM			X	X
IB-UNAM	X			
CEFINI-UNAM				X
ENEP-Z-UNAM	X			
FCB-UANL	X			
ESCB-UABC	X			
CG-CPCH	X			X
LE-CF-CPCH	X	X		
LM-CF-CPCH	X			
CB-CPCH				X
DF-UACH	X			
F-INIA-UACH	X	X		
IMM-UAAAN	X	X		
CICTUS	X			
DF-ENCB-IPN	X			X
DB-ENCB-IPN	X			
CIIDIR-IPN	X			
CINVESTAV-DF			X	
CINVESTAV-Ira	X	X	X	X
CAE-Z-INIFAP	X	X		
CAE-GT-INIFAP	X			
CAE-P-INIFAP	X			
CAE-L-INIFAP	X			
PNP-INIFAP	X			
DF-CONAFRUT	X			
ISETA	X			
CIB	X	X		X
CICY	X	X	X	X
CIATEJ		X		
PT-CIMMYT		X		
PM-CIMMYT		X		
INMECAFE	X			
FLOR-CONAFRUT	X			
PRONTIBOS	X			
CM-OAX				
CUERVO	X			
BIOGEMEX	X			
HIPROMEX	X			
38=100%	30(79%)	10(26%)	5(13%)	8(21%)

FUENTE: Datos clasificados de entrevistas personales y de cuestionarios enviados a investigadores en biotecnología, de octubre de 1986 a junio de 1987.

han incursionado, puesto que 21 de las 38 instituciones trabajan exclusivamente en este campo.

Este patrón no es exclusivo de México, puesto que en todo el mundo las aplicaciones comerciales de biotecnología vegetal se encuentran principalmente en el campo de la micropropagación. En otros países de América Latina es en este campo en el que también se concentran los mayores esfuerzos, y, como en el caso de México, el trabajo de investigación en los campos de mejoramiento genético y CTV a nivel industrial es muy limitado (Roca *et al.*, 1986).

En los países desarrollados, a pesar de que se presta gran atención a las aplicaciones basadas en el uso de técnicas de micropropagación, los centros de investigación tanto gubernamentales como industriales continúan invirtiendo en áreas de mejoramiento genético e industrial. Las áreas que reciben mayor apoyo incluyen biología celular y molecular, fisiología, bioquímica y genética vegetal (Buttel y Kenney, 1985; Sasson, 1986).

Por lo que toca a la investigación básica relevante, el énfasis principal de las unidades de investigación más importantes está puesto en la bioquímica vegetal, la fisiología, la genética, la fijación biológica del nitrógeno y la biología molecular, puesto que lo que se intenta es sentar bases científicas para el trabajo de cultivo *in vitro* y generar conocimientos para las aplicaciones de ingeniería genética. El cuadro 3.3 muestra que ocho unidades de investigación están actualmente trabajando en estas áreas y será el tema que se discutirá en la siguiente sección.

En el terreno del mejoramiento genético y CTV industrial, existen evidencias en el sentido de que se trata de áreas de desarrollo incipiente, aunque están presentando características interesantes que discutiremos posteriormente.

En la siguiente sección se proporcionará un análisis detallado de cada una de estas áreas de investigación mediante la referencia a una categorización de proyectos de investigación que actualmente se llevan a cabo y a las técnicas utilizadas, así como a las especies involucradas. Se analizarán también las limitaciones científico-técnicas que habrán de superarse si se desea incorporar a estas especies en sistemas de producción masiva.

3.3 Especies, cultivos y técnicas

La información presentada en esta sección refleja el estado de la investigación que se realizaba durante el período del estudio.

Existen otras investigaciones (Robert y Loyola, 1985; Lozoya, 1985b) en torno a biotecnología vegetal, que consideran la totalidad de las especies investigadas por las unidades desde su fundación. Las listas de especies cubiertas por estos estudios son muy amplias y tienden a sobrestimar las actividades de investigación que realmente se llevan a cabo.³ Este trabajo considera únicamente la investigación en curso en el período bajo estudio. Sin embargo, se realizarán ciertos comentarios en relación con los proyectos desarrollados anteriormente cuando éstos sean relevantes a los temas tratados en las siguientes secciones.

3.3.1 Micropropagación y conservación de germoplasma

En 1987 existían 28 unidades de investigación mexicanas que trabajaban con micropropagación y ocho en conservación de germoplasma, cuyo objetivo fundamental se centra en flores y plantas de ornato (cuadro 3.4). El cuadro 3.5 describe las unidades que trabajan en este campo e indica las especies que se estudian. Existen 12 unidades de investigación que trabajan con plantas de ornato, especialmente orquídeas, gladiolas, crisantemos, claveles y cactus ornamentales.

Otra característica importante en este campo es la investigación de especies frutales, fundamentalmente las destinadas a la exportación como fresa, piña, cítricos, café y otros.

Por lo que toca a las especies hortícolas, existe un menor número de proyectos si se compara con las especies ornamentales y frutícolas, y la investigación se centra en cebolla, ajo, yuca y papa (con objeto de conservar el germoplasma), así como apio y nopal para la micropropagación vegetativa. En el curso de este estudio, sólo se ha detectado un proyecto de investigación relacionado con especies forrajeras como la alfalfa, el cual se lleva a cabo en la ENCB-IPN.

Existen otras dos áreas de importancia en la investigación sobre micropropagación. Una es la micropropagación del agave, desarrollada de manera simultánea en cinco unidades de investigación. Otra área importante es la de micropropagación de especies forestales, la cual, a pesar de su importancia para México, sólo

³ De hecho, durante las entrevistas se observó que esos estudios sobrestimaron las actividades de investigación en biotecnología vegetal respecto del número total de especies. Existen evidencias en el sentido de que algunas de las especies reportadas en estos estudios jamás fueron investigadas o fueron abandonadas antes de producir resultados.

CUADRO 3.4
 ÁREAS DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA DE PLANTAS Y ESPECIES INVESTIGADAS
 (Número de unidades de investigación por área)

Área de investigación	Número de unidades de investigación	ESPECIES (*)								
		Cr	Or	Hc	Lg	Fr	Tb	Ft	In	Otros
Micropropagación y preservación de germoplasma	31	-	15	8	1	13	5	4	14	1
Mejoramiento genético de plantas	9	6	-	3	1	2	1	-	3	1
Biotecnología industrial de plantas	5	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Estudios básicos	8	8	-	1	5	-	1	-	2	1
Fijación biológica del nitrógeno	28	-	-	-	12	-	-	-	-	-

Cr.: Cereales Or: Ornamentales Hc: Hortícolas Lg: Leguminosas Fr: Frutas
 Tb: Tubérculos Ft: Forestales In: Industriales

(*) La clasificación de especies está basada en Loubet, E. (1980): "Investigaciones agrícolas en México", *Ciencia y Desarrollo*, núm. 23, México, p. 9.

FUENTE: Datos clasificados con base en entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos, octubre de 1986-junio de 1987.

se lleva a cabo en una unidad, en que el trabajo se centra en la reproducción de tres tipos de pinos, cedro rojo y otras especies tropicales.

La mayor parte de la investigación sobre micropropagación podría describirse como investigación aplicada, puesto que se trata de un trabajo que pretende hallar las condiciones óptimas para la micropropagación en plantas de especies determinadas, mediante la variación del medio de cultivo, la relación de hormonas del crecimiento y la luz. Este trabajo bien podría caracterizarse como una labor artesanal que intenta describir las recetas para la micro-

CUADRO 3.5
MICROPROPAGACIÓN Y CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA
(especies investigadas)

Unidades de investigación	Micro-propagación	Conservación de germoplasma	Grupos de especies (*)	Especies: nombres científicos o comunes
IB-UNAM	X		-Ornamental -Industrial	-Orquídea, cactus, <i>Anturium dieffenbachia</i> - <i>Datura innoxia</i> (toloache), <i>leucaena</i> , palmas
ENEF-Z-UNAM	X		-Ornamental -Hortícola -Industrial	-Crisantemo, clavel, orquídea -Frambuesa, zarzamora - <i>Dioscorea composita</i> (barbasco)
UANL	X		-Frutícola	-Cítricos
ESCB-UABC	X		-Hortícola -Industrial -Tubérculos	-Fresa -Jojoba -Papa
CG-CPCH	X		-Forestal -Ornamental -Industrial -Otro	-Pinos, cedro rojo -Clavel -Agave -Nopal
LE-CF-CPCH	X		-Frutícola -Industrial -Forestal	-Papaya, aguacate, mango -Vainilla -Pinos
LM-CF-CPCH	X		-Frutícola -Hortícola -Otro	-Manzana, ciruela, almendra, capulín, nuez -Fresa, frambuesa -Nopal
		X	-Frutícola -Hortícola	-Manzana -Fresa
CINVESTAV-Ira	X	X	- Leguminosas -Frutícolas	- ... -Chile
CAE-Z-INIFAP	X		-Ornamentales	-Varias
		X	-Frutícolas -Tubérculos	-Cítricos -Yuca, papa
CAE-CT-INIFAP	X		-Frutícolas	-Cítricos
CAE-P-INIFAP	X		-Frutícolas	-Guayaba, durazno, uva

CUADRO 3.5
MICROPROPAGACIÓN Y CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA
(especies investigadas) [cont.]

Unidades de investigación	Micro-propagación	Conservación de germoplasma	Grupos de especies (*)	Especies: nombres científicos o comunes
CAE-L-INIFAP	X		-Frutícolas	-Uva
PNP-INIFAP		X	-Tubérculos	-Papa
DF-CONAFRUT	X		-Frutícolas -Ornamentales	-Papa, aguacate -Cactus
ISETA	X		-Frutícolas -Ornamentales	-Chabacanos -Violeta africana, crisantemo, clavel
CIB	X		-Especies no cultivables -Tubérculos	- ... -Camote
CICY	X		-Ornamentales -Industriales	-Crisantemo, gladiola -Agave
DF-UACH	X	X	-Frutícolas -Hortícolas -Ornamentales -Forestales -Industriales -Tubérculos -Industriales	-Guayaba, aguacate, uva, tejocote -Fresa -Clavel -Eucalipto, cedro rojo -Agave, café, barbasco, vainilla, jojoba -Papa -Café
F-INIA-UACH	X	X	-Ornamentales -Tubérculos	-Crisantemo -Papa
IMM-UAAAN		X	-Hortícolas	- ...
CICTUS	X		-Frutícolas -Industriales	-Cítricos -Jojoba
DF-ENCB-IPN	X		-Hortalizas -Industriales	-Alfa, apio -Tabaco, caña de azúcar
DB-ENCB-IPN	X		-Ornamentales	- ...
CIIDIR-IPN	X		-Frutícolas -Hortícolas -Forestales	-Ciruela, durazno, nuez, manzana, pistache -Fresa -Pinos
INMECAFE	X		-Industriales	-Café

CUADRO 3.5
MICROPROPAGACIÓN Y CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA
(especies investigadas) [cont.]

Unidades de investigación	Micro-propagación	Conservación de germoplasma	Grupos de especies (*)	Especies: nombres científicos o comunes
FLOR-CONAFRUT	X		-Ornamentales	-Crisantemo, clavel, geranio
PROTINBOS	X		-Ornamentales	- ...
CM-OAX	X		-Ornamentales -Hortícolas -Industriales	- ... -Fresa - <i>Agave potatoris</i>
CUERVO	X		-Industriales	- <i>Agave tequilana</i>
BIOGEMEX	X		-Ornamentales	-Crisantemo, clavel, geranio, violeta africana
MIPROMEX	X		-Ornamentales	- ...

* La clasificación de especies está basada en Loubet, E. (1980), "Investigaciones agrícolas en México", *Ciencia y Desarrollo*, núm. 33, CONACYT, México, p. 9.

FUENTE: Datos clasificados de entrevistas personales y cuestionarios enviados a investigadores en biotecnología, octubre 1986 a junio de 1987.

propagación de las especies estudiadas. Consecuentemente, en una buena parte podría parecer repetitivo, puesto que los científicos experimentan con especies cuya reproducción *in vitro* ya ha sido registrada por la literatura científica. En algunos casos, el objetivo es mejorar los resultados ya difundidos o intentar lograrlos por otros medios. La mayoría de los investigadores trabajan con especies fácilmente regenerables, y es poca la investigación que se concentra en especies recalcitrantes como el pino, el agave y la palma.

En general, existen pocos estudios que intentan proporcionar una base científica al trabajo sobre la micropropagación, es decir, que intenten una comprensión más profunda y el control de los mecanismos involucrados en el fenómeno de regeneración *in vitro* de las plantas. Esto se demuestra mediante la falta de nexos entre

los trabajos de micropropagación y los estudios básicos. Estos últimos, aunque en algunos casos fueron desarrollados en las mismas unidades de investigación, continúan de manera independiente de los estudios de micropropagación.

En resumen, la investigación sobre micropropagación se dirige muy claramente a las especies ornamentales y frutícolas. No obstante, también se realizan trabajos en torno a otros cultivos comercialmente importantes como café, agave y especies forestales, aunque son cualitativamente menores los esfuerzos invertidos en este último campo.

3.3.2 Mejoramiento genético

El área del mejoramiento genético abarca una gran variedad de técnicas dirigidas hacia la modificación genética de las plantas por medio de la variación somaclonal, la selección *in vitro* de células, el cultivo *in vitro* de anteras, el rescate de embriones, la fusión de protoplastos y las técnicas ADN de recombinante. El cuadro 3.6 proporciona información acerca de las unidades de investigación que trabajan con estas técnicas.

Una conclusión inicial derivada de la información contenida en el cuadro 3.6, es que todas las técnicas para el mejoramiento genético descritas al inicio de este capítulo se aplican a las investigaciones en curso. La mayoría de los investigadores trabaja con variación somaclonal y selección *in vitro*. A pesar de ello, existen también varios proyectos que utilizan rescate de embriones, cultivo de anteras y fusión de protoplastos, mientras que solo una institución trabaja con ingeniería genética vegetal.

Sin embargo, casi todos los proyectos de investigación se encuentran en sus etapas iniciales. Los científicos trabajan en torno a la fase de regeneración de plantas a partir de células en suspensión, lo cual es sólo una condición previa para un programa en ingeniería genética. Otros proyectos sobre maíz, café, agave y coco llevados a cabo en la UACH, UAAAN, CICY y CIMMYT, ya han pasado de la fase de regeneración, aunque ésta no se ha completado.

El mejoramiento genético de las plantas es un trabajo a muy largo plazo, ya que involucra la combinación de nuevas técnicas de biotecnología, así como las técnicas tradicionales de cultivo, las cuales permiten las demostraciones en el campo. No obstante, independientemente de lo exitosa que pueda ser la aplicación de

CUADRO 3.6
MEJORAMIENTO GENÉTICO

<i>Unidades de investigación</i>	<i>Técnicas aplicadas</i>	<i>Especies y objetivos</i>
LE-CF-CPCH	-Rescate de embriones -Variación somaclonal, selección <i>in vitro</i>	-Papaya-resistencia a virus -Aguacate-resistencia a sequía y salinidad
F-INIA-UACH	-Variación somaclonal, selección <i>in vitro</i>	-Maíz-resistencia a sequía
IMM-UAAAN	-Selección <i>in vitro</i>	-Maíz-resistencia a sequía
CINVESTAV-Irapuato	-Fusión de protoplastos ADN-r	-Tabaco-resistencia a enfermedades -Tomate-ibid -Papa-ibid -Frijol-ibid -Amaranto-ibid -Papaya-ibid
CAE-Z-INIFAP	-Variación somaclonal, selección <i>in vitro</i> -Cultivo de anteras -Rescate de embriones	-Caña de azúcar -Arroz-resistencia a sequía -Tomate-resistencia a insectos
CIB	-Variación somaclonal	-Especies silvestres y comerciales
CICY	-Variación somaclonal -n.i.	- <i>Canavalis ensiformis</i> especies menos tóxicas - <i>Agave tequilana</i>
CIATEJ	-n.i.	-Alfalfa-resistencia a salinidad
PT-CIMMYT	-Rescate de embriones -Selección <i>in vitro</i>	-Trigo-resistencia a enfermedades, tolerancia al estrés -Trigo-tolerancia al aluminio
PM-CIMMYT	-Rescate de embriones	-Maíz

n. i. = Información no disponible.

FUENTE: Datos clasificados de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos, octubre 1986 a junio 1987.

las técnicas de ADN-r en el laboratorio, la validez de la nueva biotecnología debe comprobarse en el campo.

Por lo que toca a la investigación actual, los trabajos del CINVESTAV-Irapuato, del CAE-Z-INIFAP, del CIMMYT y de la UAAAN, son los únicos con programas a mediano y largo plazo en torno al mejoramiento genético. Sin embargo, estas instituciones tienen

diferentes enfoques: en el CAE-Z-INIFAP y en el CIMMYT se utilizan técnicas tradicionales, mientras que el CINVESTAV-Irapuato realiza trabajos con énfasis en la biología molecular. Es importante mencionar aquí que en 1987 el CINVESTAV-Irapuato, junto con el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba, eran las únicas instituciones de investigación que trabajaban sobre ingeniería genética vegetal en América Latina.

En lo referente a los cultivos que están siendo investigados, existen seis unidades de investigación que trabajan con granos básicos (maíz, trigo, frijol y arroz); dos que trabajan con árboles frutales (papaya y aguacate); dos con tomates y uno con papa, tabaco y amaranto, uno con plantas silvestres; uno con *Agave tequilana* y *Canavalia ensiformis*, y otro que trabaja con caña de azúcar. Esto implica que los proyectos de mejoramiento genético son muy diversos y existen sólo unos cuantos casos en que dos o más unidades trabajan en la misma especie, fundamentalmente granos básicos y plantas frutícolas.

Es importante observar que los proyectos en torno al mejoramiento de granos básicos están, en general, en sus etapas iniciales. La excepción sería el trabajo que se realiza en el CIMMYT con maíz y trigo (Smith, 1987). La investigación con otros cultivos básicos como arroz y frijol, desarrollada por CINVESTAV-Irapuato con objetivos a largo plazo, aún debe resolver limitaciones técnicas y científicas para poder utilizar técnicas de ingeniería genética. El frijol presenta problemas en cuanto a la regeneración a partir de protoplastos. En el caso del arroz, es conocido el éxito a nivel internacional en esta monocotiledónea y la regeneración de protoplastos se ha logrado mediante el uso de *Agrobacterium tumefaciens*, como vector para la introducción de material genético en las células del arroz (IRRI, 1985). Los investigadores nacionales pueden acceder a estos avances mediante sus contactos con centros de investigación internacionales.

Otro cultivo industrial importante para México es la caña de azúcar. La biotecnología ofrece la posibilidad de generar nuevas variedades de caña de azúcar con alto rendimiento y gran resistencia a las plagas. Estos objetivos podrían ser posibles mediante la utilización de técnicas de cultivos de tejidos y manipulación genética *in vitro*. Sin embargo, en México no se lleva a cabo prácticamente ninguna investigación en mejoramiento genético, a excepción de los trabajos sobre variación somaclonal y cultivos *in vitro* en el CAE-Z-INIFAP. El Instituto de Mejoramiento para la Producción de Azúcar (IMPA), dependiente de Azúcar, S. A., es el

responsable de esta investigación. Existe también un Centro Nacional del Azúcar en el estado de Veracruz. Entre 1982 y 1984 se llevó a cabo un programa para utilizar la variación somaclonal en el mejoramiento genético de la caña de azúcar. Sin embargo, este programa fue suspendido en 1984, primero debido a la falta de confianza en que la variación somaclonal sería útil y eficiente para el cultivo de tejidos en la caña de azúcar. Durante las entrevistas con el personal del IMPA, se argumentó que la variación somaclonal en la caña de azúcar se considera una técnica importante en los debates internacionales (Morrill, 1987). Aún siguen siendo poco claras las razones para el recorte del programa, pero a pesar de estas limitaciones es significativo que el CAE-Z-INIFAP continúa realizando investigaciones con variación somaclonal, que intentan contribuir al mejoramiento genético de este cultivo, el cual se evaluará una vez concluida la fase experimental.

El mejoramiento genético es un área de investigación en la cual el objetivo fundamental es obtener plantas libres de virus y variedades resistentes a las enfermedades, plagas y condiciones ambientales adversas. En los países desarrollados, la línea fundamental de investigación en lo que concierne a los granos básicos, es obtener variedades resistentes a los insecticidas, pesticidas y la creación de variedades autofertilizables (Sasson, 1986). La preocupación por producir estas variedades se basa en el interés de las compañías transnacionales por mejorar y monopolizar el mercado de los insumos agrícolas. Con tales variedades, estas compañías garantizarán el éxito de insecticidas y herbicidas.

A partir de la información revisada puede afirmarse que tales líneas de investigación aún no se siguen en México. Las orientaciones de investigación en el mundo desarrollado no son necesariamente atractivas para los agricultores mexicanos, quienes se interesan más, en primer lugar, en variedades que puedan garantizar una buena cosecha debido a su resistencia a las plagas sin tener que depender de los pesticidas. En segundo lugar, necesitan variedades que dependan menos de insumos agrícolas y sean más adaptables a condiciones ambientales variables. Es aquí donde se encuentra la importancia de tales variedades autofertilizables. Los intereses de los agricultores mexicanos implican el desarrollo de líneas diferentes de investigación de las que se llevan a cabo en los países desarrollados. México se beneficiaría de los esfuerzos realizados por disminuir el retraso en la obtención de variedades resistentes a las enfermedades, plagas, condiciones ambientales y de variedades capaces de fijar ellas mismas el nitrógeno. Este

último aspecto se discutirá en otra sección de este capítulo, al referirnos a las tendencias de investigación en los estudios básicos.

3.3.3 Cultivo industrial de tejidos vegetales

El cultivo industrial de tejidos vegetales es un área de investigación cuyos objetivos difieren de las dos áreas anteriores, puesto que no se relacionan con el cultivo de plantas para la agricultura. No obstante, estas técnicas no deben clasificarse como biotecnología agroindustrial debido a que utilizan cultivos agrícolas y no desechos agroindustriales. Esta área se refiere al empleo de técnicas biotecnológicas para el cultivo de células vegetales que se utilizan como materias primas en la producción de sustancias usadas en la industria. Esta área de trabajo es muy similar a la de las fermentaciones realizadas mediante el uso de microorganismos, pero en este caso, se utiliza la biomasa vegetal, la cual se transforma en materias primas para diversas industrias. Este campo requiere tanto de conocimiento acerca de técnicas de cultivo *in vitro* como de conocimientos y experiencia en el área de la bioingeniería. Ambos se requieren para el diseño y construcción de biorreactores adecuados y la optimización de sus procesos.

Como puede observarse en el cuadro 3.7, esta área de investigación se encuentra en su etapa inicial en México, y en 1987 sólo tres proyectos de investigación comenzaban a llevarse a cabo. Tres de estos proyectos tienen como objetivo la producción de sustancias para usos médicos y farmacológicos: primero, la producción de digoxina, utilizada como cardiotónico en la industria farmacéutica; segundo, la producción de vincristina y vinblastina, ambos

CUADRO 3.7
CULTIVO INDUSTRIAL DE TEJIDOS VEGETALES

Unidades de investigación	Especies	Producto
ENEP-Z-UNAM FQ-UNAM y CICY	<i>Digitalis purpúrea</i> <i>Catharantus roseus</i>	Digoxina (cardiotónico) Vincristina/Vinblastina (Metabolitos secundarios)
CINVESTAV-DF y CINVESTAV-Irapuato	<i>Capsicum spp</i>	Capsaicina (Metabolito secundario)

alcaloides diméricos utilizados en el tratamiento de cáncer, y tercero, la producción de capsaicina. Aunque esta última aún no se produce en forma pura en todo el mundo, con el tiempo podría sustituir a las oleorisininas. México importa oleorisininas de Estados Unidos y España, las cuales se utilizan tanto en la industria alimentaria como agentes saborizantes, como en la industria tabacalera. También se utilizan en la producción de vinos y productos farmacéuticos para el tratamiento del reumatismo y para mujeres embarazadas. En su forma más pura, son empleadas como reactivos de laboratorio (Arias, 1986).

Todos estos productos poseen un alto valor comercial, pero sólo la digoxina tiene un mercado anual importante y un precio muy alto que oscila en los 10 000 dólares por kilogramo. Para las otras tres, dado que los mercados aún son muy restringidos, los precios son muy altos: de un millón de dólares por kilogramo para las dos primeras y de 40 000 dólares para la capsaicina (Arias, 1986).

Los tres proyectos de investigación en esta área se llevan a cabo en el nivel del laboratorio. El proyecto *Catharantus* se concentra en la bioquímica básica de las rutas de producción metabólica de los alcaloides de vincristina y vinblastina: se ha estudiado el metabolismo nitrogenado, las enzimas de las plantas y la manera en que manejan el nitrógeno. También se investigan los usos que las plantas hacen de los metabolitos secundarios, ya que los científicos han descubierto que estos compuestos son producidos por la planta en respuesta a situaciones de tensión (Loyola, 1986). Hasta 1987, no se había puesto atención a los problemas de escalamiento y bioingeniería. Los investigadores que trabajan con *Catharantus* sólo han pensado en desarrollar estudios a nivel de fermentación y en desarrollar un fermentador que pueda ser empleado para vegetales. En contraste con lo anterior, los científicos que desarrollan el proyecto *Capsicum* en el CINVESTAV se concentran en diseñar el biorreactor, mientras que las cuestiones bioquímicas no tienen interés alguno.

El proyecto sobre digoxina y el de vincristina y vinblastina tiene como objetivo encontrar sustitutos para los costosos compuestos importados que se requieren, aunque en cantidades mínimas. No obstante, es poco probable que algunos de estos proyectos lleguen a término exitosamente. Varios investigadores ya han expresado sus dudas en este sentido, debido a la competencia en todo el mundo en lo que respecta a la investigación sobre estos metabolitos, así como a la competencia prevaleciente en el

mercado mundial, la cual admite poco margen para el desarrollo tecnológico del Tercer Mundo en este campo. Los proyectos que se llevan a cabo actualmente en México pueden contribuir al conocimiento en esta área e incluso tener éxito técnicamente, sin embargo, es improbable que puedan industrializarse dados sus altos costos de producción. Tales altos costos impiden que estos procesos resulten económicamente factibles. Las inversiones requeridas por estos procesos sólo pueden ser provistas por las grandes compañías transnacionales. Por ello, hasta ahora los países en desarrollo han exportado a los países desarrollados los metabolitos secundarios extraídos por métodos químicos y enfrentan la amenaza de que estos productos sean sustituidos, amenaza a la que no pueden responder debido a los altos costos de producción que esto implicaría.

3.3.4 Investigación básica de interés para la biotecnología vegetal

Al inicio de este capítulo, el concepto de investigación básica se definió incluyendo la investigación en las áreas de fisiología, bioquímica, microbiología de suelos, genética y biología molecular. Este tipo de investigación puede contribuir a nuestra comprensión de las bases científicas de investigación en los cultivos *in vitro* y a apoyar la aplicación de técnicas de ingeniería genética.

El cuadro 3.8 muestra las unidades que trabajan en investigación básica en este campo, algunas de las cuales también figuran en otros campos de trabajo en biotecnología vegetal. Estos proyectos de investigación aún se encuentran en sus etapas iniciales en México, lo que se refleja en el reducido número de instituciones que llevan a cabo trabajos siguiendo líneas de investigación. Existen también algunas unidades que, según otras fuentes de información (Lozoya, 1985b y Robert, 1985), trabajaron en investigación básica en algún momento, pero que abandonaron los proyectos. Ello probablemente se debe a limitaciones más científicas y técnicas que económicas que aún enfrentan estos campos de estudio.

La ENCB-IPN continúa realizando estudios para mejorar su comprensión del fenómeno de cultivos *in vitro*. Actualmente trabaja con alfalfa, aunque también ha trabajado con tabaco y caña de azúcar, pero ya abandonó estas dos últimas líneas de investigación. De manera similar, el Departamento de Bioquímica de la

CUADRO 3.8
ESTUDIOS BÁSICOS EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

<i>Unidades de investigación</i>	<i>Especies</i>	<i>Líneas de investigación</i>
FQ-UNAM	-Maíz -Frijol	
CEFINI-UNAM	-Frijol	-Biología molecular -Simbiosis de <i>Rhizobium</i>
CG-CPCH	-Maíz -Arroz -Sorgo -Frijol	-Estudios morfológicos, fisiológicos y genéticos <i>in vitro</i>
CB-CPCH	-Frijol -Maíz -Sorgo -Otros	-Estudios bioquímicos
DF-ENCB-IPN	-Alfalfa	-Embriogénesis bioquímica
CINVESTAV-Irapuato	-Papa -Frijol -Arroz -Amaranto -Tomate -Tabaco	-Bioquímica y biología molecular -Desarrollo metodológico de la biología molecular (RFLP) -Bioquímica de granos y semillas
CIB	-n. i.	-Biología molecular -Introducción entre planta y microorganismos
CICY	- <i>Catharantus roseus</i> - <i>Canavalia ensiformis</i>	-Bioquímica

n. i. Información no disponible.

FUENTE: Datos clasificados de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos, octubre 1986 a junio 1987.

UNAM investigaba el metabolismo nitrogenado de células *in vitro* de maíz, pero este campo ya no se sigue estudiando.

El CINVESTAV lleva a cabo actualmente investigación básica en bioquímica y biología molecular en estrecho contacto con la ingeniería genética. Esto tiene como objetivo mejorar las especies estudiadas entre las que se incluye papa, frijol, arroz, amaranto, tomate y tabaco. En 1987, este centro comenzó a utilizar el método

de Polimorfismos de restricción fragmentada de longitud (*Restriction Fragment Length Polimorfisms*) para detectar características agrícolas deseables en el genoma de la planta.

3.3.5 Fijación biológica del nitrógeno

Hemos considerado el campo de la fijación biológica del nitrógeno de manera independiente, debido a que se trata de un área de investigación de gran tradición en México que, como puede observarse en el cuadro 3.9, llevan a cabo gran número de instituciones. La importancia de este campo de investigación reside en la creciente productividad de las cosechas mediante el mejoramiento del fenómeno de la fijación del nitrógeno a través de ciertos microorganismos.

CUADRO 3.9

INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN EN FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL NITRÓGENO

Instituciones	Campos de investigación
Colegio de Posgraduados de Chapingo	<ul style="list-style-type: none"> -Ecología -Uso de N¹⁵ en la evaluación de la fijación biológica del nitrógeno -Interacción <i>Rizobium</i>-micorriza -Estudios de plásmidos -Asociación <i>Rhizobium phaseoli</i> <i>Rhizobium vulgaris</i> *
CINVESTAV-DF CINVESTAV-Irapuato ENCB-IPN	<ul style="list-style-type: none"> -Incremento de fijación de nitrógeno en leguminosas -Ecología del <i>Rhizobium</i> -Cianobacterias capaces de fijar nitrógeno -Estudios de plásmidos y mutantes
Facultad de Química-UNAM Facultad de Biología-UNAM Instituto de Geología-UNAM GEFINI-UNAM ENEP-UNAM	<ul style="list-style-type: none"> -Interacción <i>Rhizobium</i>-micorrizas -Aspectos ecológicos y aplicativos del <i>Azospirillum</i> -Ingeniería genética y biología molecular del <i>Rhizobium</i> -Control genético de la fijación biológica del nitrógeno -Biología molecular de la simbiosis <i>Rhizobium</i>-leguminosas -Identificación de microorganismos anaerobios fijadores de nitrógeno -Fijación del nitrógeno en sustratos de carbohidratos

CUADRO 3.9 (cont.)

<i>Instituciones</i>	<i>Campos de investigación</i>
Instituto Tecnológico de Durango	-Investigación básica en biotecnología -Producción de inoculantes para frijol
Instituto Tecnológico de Veracruz	-Investigación básica -Producción de inoculantes para frijol
Instituto de Agricultura Tropical	-Ecología -Evaluación de inoculantes en frijol, soya, <i>leucaena</i> y <i>desmodium</i>
Colegio Agropecuario de Guerrero	-Evaluación de inoculantes en soya
INIFAP	-Evaluación de inoculantes en frijol, soya, yuca, <i>leucaena</i> y acacia
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	-Producción de inoculantes
Instituto Tecnológico de Monterrey	-Evaluación de inoculantes en varias leguminosas
Instituto Tecnológico Agrícola y Pecuario de Morelos	-Evaluación de inoculantes
INIREB	-Investigación básica -Ecología de leguminosas
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos	-Producción de inoculantes
Universidad Autónoma de Chapingo	-Investigación básica sobre ecología producción y evaluación de inoculantes para frijol y soya
UNAM-Ixtapalapa	-Investigación básica sobre los efectos de la producción en frijol y <i>leucaena</i>
UAM-Xochimilco	-Evaluación de inoculantes
Universidad Autónoma de Guerrero	-Investigación básica sobre ecología
UAAAN	-Producción de inoculantes
Universidad Autónoma de Nuevo León	-Investigación básica en ecología
Universidad Autónoma de Puebla	-Investigación básica en ecología y genética del <i>Azospirillum</i>
Universidad Autónoma de Sinaloa	-Investigación básica en ecología y genética del <i>Azospirillum</i>
Universidad Autónoma de Tamaulipas	-Investigación básica en ecología

FUENTE: Datos elaborados a partir de: Ferrara-Cerrato, R. (1985), *Estado actual de la investigación sobre fijación biológica de nitrógeno*. II Reunión Latinoamericana sobre *Rhizobium*, Campinas, Brasil.

El estudio se centra específicamente en la búsqueda de microorganismos que pudieran ayudar a las plantas a fijar el nitrógeno. La investigación se desarrolla utilizando microorganismos de fijación del nitrógeno como *Rhizobium*, *Azospirillum* y algas. Los estudios que se realizan incluyen: pruebas de inoculación de *Rhizobium*; selección de cepas y pruebas de inoculantes comerciales; mutación de *Rhizobium*; respuesta del frijol a la inoculación y al estudio de la simbiosis entre *Azolla* y algas. El objetivo de este campo de investigación es inocular tales microorganismos en cultivos agrícolas para mejorar su capacidad de fijación de nitrógeno y reducir el uso de fertilizantes químicos.

En el campo de la investigación de la fijación de nitrógeno prevalecen dos enfoques: el primero estudia el fenómeno natural de la fijación de nitrógeno, producido por medio de la simbiosis entre el *Rhizobium* y las leguminosas, y la búsqueda de cepas nativas de microorganismos que se utilizarán como fuente biológica de fijación de nitrógeno en las plantas. El otro enfoque, que está siendo desarrollado en el CEFINI-UNAM, es el de biología molecular básica y estudia las características genéticas de los microorganismos capaces de fijar el nitrógeno, fundamentalmente el *Rhizobium*. En el largo plazo, la comprensión, manipulación y transferencia de los genes fijadores del nitrógeno podría llevar a la creación de nuevas cosechas, probablemente de cereales, capaces de fijar el nitrógeno por sí mismas.

En gran medida, el trabajo de investigación del CEFINI se concentra en el estudio de la biología molecular de la asociación simbiótica entre el *Rhizobium* y las plantas leguminosas. Se trata de un programa de investigación básica, cuyo objetivo es aumentar la fijación biológica del nitrógeno y comprender los mecanismos que regulan la interacción entre las bacterias y las plantas. A partir de estos estudios básicos, se intenta generar mutaciones e introducir genes por medio de técnicas de ingeniería genética.

En lo referente a la biología molecular aplicada a las plantas, el CINVESTAV y el CEFINI son las dos unidades en el país que en 1987 llevaban a cabo investigación en este campo, sin embargo, tienen orientaciones muy diferentes. Las entrevistas de campo indican que otras instituciones de investigación están interesadas en entrar en esta área de estudio; por ejemplo, el Departamento de Bioquímica de la UNAM y el Centro de Botánica del Colegio de Posgrado de Chapingo.

3.3.6 Viabilidad científica, técnica y factibilidad económica

A lo largo del análisis de la investigación que se realiza en biotecnología vegetal, se han subrayado algunas de las principales limitaciones que es necesario superar en cada uno de los campos de investigación. En esta sección las expondremos de manera sistematizada.

a) Una de las principales limitaciones de la biotecnología vegetal tiene que ver con el escaso desarrollo de las técnicas en el terreno de los granos básicos como el maíz y el frijol, entre otros. La tendencia prevaleciente en la investigación en biotecnología, como lo demuestra este estudio, es que el desarrollo de la investigación y la aplicación de las técnicas de biotecnología vegetal se han concentrado en las especies ornamentales y hortícolas. Esto se debe fundamentalmente a que las técnicas de biotecnología vegetal sólo pueden aplicarse en esas especies pero no en los cultivos básicos.

b) La investigación en biotecnología vegetal en México aborda dos insumos de las actividades agrícolas: semillas y fertilizantes. En el primer caso, el mejoramiento de cultivos industriales como café y tabaco, atrae importantes esfuerzos de investigación. Sin embargo, el mejoramiento genético de cultivos como el maíz y el frijol sólo está siendo considerado de manera marginal debido al limitado desarrollo de las técnicas de mejoramiento genético por los cultivos básicos y a la falta de interés y recursos de los investigadores para desarrollar tales técnicas.

c) Por lo que toca a la fijación del nitrógeno, existe cierta preocupación entre los biotecnólogos mexicanos para orientar la investigación hacia la creación de otros tipos de plantas que fijen sus propio nitrógeno. Esto llevaría a evitar la dependencia de fertilizantes químicos y a eliminar los problemas de contaminación que producen en las tierras agrícolas y en los mantos acuíferos. Sin embargo, el proceso de fijación biológica del nitrógeno sólo es posible en las plantas leguminosas. Es posible modificar y mejorar la simbiosis, pero aún no lo es modificar genéticamente a la planta para producir la característica de fijar el nitrógeno por sí mismo. Esta característica podrá aplicarse a cultivos básicos como cereales, pero sólo en el largo plazo.

Cabe mencionar que la investigación convencional en microbiología de suelos podría contribuir en el corto plazo a mejorar la producción de inoculantes. Existen en el país importantes avances en esta área de investigación que podrían industrializarse en el corto plazo.

d) En el terreno de la factibilidad económica de la biotecnología vegetal, las únicas técnicas que han resultado exitosas en su aplicación comercial son las técnicas de CTV para la micropropagación, que han demostrado su factibilidad económica en especies ornamentales y frutícolas, y en México existen algunas compañías pequeñas que producen material vegetativo para exportación.

La factibilidad de las técnicas de micropropagación aumenta rápidamente. En 1968 se informó acerca de la viabilidad técnica de la micropropagación en 30 diferentes especies. En 1978, este número había ya aumentado a 300, y en 1988, probablemente sea ya posible comprobar la viabilidad de 3 000 diferentes especies (IRRI, 1985). Sin embargo, la micropropagación no parece factible en plantas leguminosas y cereales, puesto que esta técnica no resulta una alternativa para aquellas especies que se propagan solamente a través de semillas: para tales especies, deben utilizarse otros métodos como el mejoramiento genético.

3.4 Recursos dedicados a la investigación en biotecnología vegetal

3.4.1 Recursos humanos

Al analizar la investigación en biotecnología en México, uno de los indicadores relevantes se refiere a las características cuantitativas y cualitativas de los recursos humanos que trabajan en este campo de investigación. El cuadro 3.10 proporciona información en torno al número total de investigadores que trabajan en las unidades de investigación sobre biotecnología vegetal, así como acerca de su formación.

En primer lugar, el cuadro muestra que en 1987 México poseía un grupo de más de 160 investigadores en este campo, incluyendo titulares, ayudantes y técnicos. Se encontraban distribuidos en un total de 38 unidades, lo cual indica una amplia dispersión de recursos humanos. Existen algunas instituciones con un solo investigador, mientras que en otras los grupos son numerosos. El CINVESTAV-I, la FQ-UNAM, el CG-CPHC y el CICY son las unidades en las que se encuentra al mayor número de investigadores, ya que absorben a más de 50% de todos los científicos en esta área.

En lo concerniente a su formación, el porcentaje de doctorados en relación con el total de investigadores es bastante alto: 32%.

CUADRO 3.10
RECURSOS HUMANOS EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

Unidades de investigación	Grados de los investigadores			Técnicos	Total
	Doctores	Maestros	Licenciados		
FO-UNAM	8	—	—	—	8
IB-UNAM	1	—	—	2	3
CEFINI-UNAM	5	3	—	8	16
ENEP-Z-UNAM	1	—	—	—	1
FCB-UANL	—	3	—	—	3
ESCB-UABC	—	1	1	2	4
CG-CPCH	2	—	6	3	11
LE-CF-CPCH	1	—	—	—	1
LM-CF-CPCH	—	1	—	—	1
CB-CPCH	1	3	—	—	4
DF-UACH	1	—	4	2	7
F-INIA-UACH	1	—	—	3	4
IMM-UAAAN	—	—	3	—	3
CICTUS	—	1	1	—	2
DF-ENCB-IPN	1	—	1	—	2
DB-ENCB-IPN	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
CIIDIR	—	—	3	1	4
CINVESTAV-DF	—	3	—	—	3
CINVESTAV-Irapuato	15	4	2	12	33
CAE-Z-INIFAP	—	1	1	2	4
CAE-GT-INIFAP	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
CAE-P-INIFAP	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
CAE-L-INIFAP	2	1	—	—	3
PMP-INIFAP	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
DF-CONAFRUT	—	—	1	—	1
ISETA	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
CIB	2	—	3	—	5
CICY	5	2	1	10	18
CIATEJ	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
PT-CIMMYT	2	1	1	7	11
PM-CIMMYT	1	—	—	—	1
INMECAFE	—	1	1	—	2
FLOR-CONAFRUT	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
PROTINBOS	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
CM-OAX	—	—	4	—	4
CUERVO	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
BIOGEMEX	2	—	2	—	4
MIPROMEX	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.	n. i.
Total	51	25	35	52	163

n. i. = información no disponible.

FUENTE: Datos elaborados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos de octubre de 1986 a junio de 1987.

Además, un alto porcentaje de instituciones de investigación tenía un grupo de investigadores que incluía al menos uno con un grado de doctor. Esto es significativo debido a que un doctorado en México implica un nivel de calificación en el que se adquiere la capacidad para desarrollar la investigación de manera independiente.⁴

El CINVESTAV-Irapuato posee la mayor concentración de investigadores y el número más alto de doctorados. Tan sólo en el área de ingeniería genética trabajan 11 investigadores, lo cual es aproximadamente la mitad del total en este centro. Ello se debe a una política deliberada para alentar mayor capacitación entre los investigadores de esta institución desde 1981 (Blanco, 1986). En 1984, esta política recibió nuevo ímpetu al iniciarse un programa de capacitación en investigación y la autorización de 10 becas por parte del Consejo Nacional de Educación Técnica (COSNET), dependiente de la SEP. En estos acuerdos, las becas se autorizaron para estudiar doctorados en el Max Planck Institute y en Cambridge, Estados Unidos. Con esta política, el centro proyectaba tener 25 investigadores trabajando en ingeniería genética para principios de la década de los noventa. En 1987, este grupo se dividió en las siguientes áreas: cultivo de tejidos, química de proteínas, química de ácidos nucleicos, clonación de genes vegetales, clonación de genes de microorganismos y estudio de los mecanismos de la regulación genética de las plantas. La intención es formar un grupo interdisciplinario y desarrollar proyectos de investigación colectivos más que individuales, lo cual contrasta con la tendencia predominante en la mayoría de las unidades de investigación (Herrera, 1986).

La mayoría del personal que trabaja en investigación no puede dedicarse a ésta de tiempo completo, puesto que casi todos participan en el campo de la docencia y gran parte de su tiempo está dedicado a ello. Esto aparece como una buena manera de transmitir los conocimientos adquiridos en la investigación. Sin embargo, para muchos investigadores implica horarios pesados, no sólo en términos del número de horas de clase, sino también del trabajo de preparación de cursos y las tutorías.

⁴ Esto ocurre en el caso de México. Los doctorados implican un largo proceso de capacitación y a menudo se obtienen tanto nacional como internacionalmente, cuando el investigador ha acumulado gran experiencia en actividades de investigación. El patrón es muy diferente en otros países como el Reino Unido, donde los doctorados se obtienen a edades relativamente más jóvenes y sin la necesidad de experiencia de investigación previa.

Por otra parte, los estudiantes tanto de licenciatura como de maestría participan ampliamente en la investigación en biotecnología. Es normal que los investigadores asesoren a estudiantes en proceso de elaboración de sus tesis, en parte realizando trabajo experimental en el laboratorio. Este tipo de acuerdo es frecuente porque las limitaciones presupuestales no permiten la contratación de personal técnico, ni ayudantes de investigación.

Los investigadores en biotecnología vegetal se encuentran muy dispersos y poseen pocos canales de comunicación que pudieran provocar un impacto valioso en el desarrollo de este campo de investigación. Los niveles de calificación son generalmente altos, y como son pocos los puestos disponibles, son aquellos con las mejores calificaciones quienes resultarán más competitivos en el mercado de trabajo.

3.4.2 Fuentes de financiamiento

Otro indicador particular de la evaluación de las actividades de investigación son los fondos dedicados a estas actividades. Durante el trabajo de campo se identificaron dos tipos de fuentes de financiamiento: aquellas provenientes de presupuestos en el interior de las propias instituciones, y las que provenían de fuentes externas. En general, los fondos provenientes de los presupuestos de las instituciones apenas cubren los salarios de los investigadores, y en algunos casos, son incluso insuficientes para contratar ayudantes de investigación. Como resultado de ello, las fuentes de financiamiento externas desempeñan un papel cada vez más importante, puesto que representan el único medio de iniciar nuevos proyectos de investigación y adquirir equipo y materiales de laboratorio.

En función de lo anterior, el siguiente análisis se concentra en las cantidades y características de las fuentes de financiamiento externas. Las dos más importantes en 1987 eran el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), organización pública descentralizada, responsable de las políticas científicas y tecnológicas del país, y COSNET, dependiente de la Secretaría de Educación (SEP). En principio, el CONACYT financia a todos los centros de investigación, mientras que el COSNET sólo financia a instituciones que pertenecen al Sistema Nacional de Educación Tecnológica. Existen otras fuentes complementarias de financiamiento, algunas públicas como la Dirección de Graduados e Inves-

tigación, la cual provee fondos para la investigación en el IPN y el Programa México, creado en 1987 por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). Por otra parte, también existen otras fuentes privadas como el Fondo Ricardo J. Zevada, que es una fundación nacional.

Fue extremadamente difícil determinar la cantidad de financiamiento destinada a esta área de investigación. En el transcurso de la investigación no fue posible obtener información detallada en torno al financiamiento a los investigadores particulares. Las instituciones y sus administradores no pudieron o no quisieron proporcionar información acerca de ciertos proyectos. Sin embargo, obtuvimos datos acerca de los fondos de CONACYT para la investigación en biotecnología vegetal durante los años 1984-1987 (CONACYT, 1985, 1986, 1987, 1988). El cuadro 3.11 proporciona información acerca del apoyo financiero canalizado a través de CONACYT hacia los centros de investigación en biotecnología vegetal, con cantidades en miles de pesos constantes.

Es evidente que esta organización concentra su apoyo en un número limitado de unidades de investigación, incluyendo las pertenecientes a la UNAM, el CPCH, el CINVESTAV-Irapuato y el CICY. Como ya lo mencionamos antes, se trata de instituciones que también atraen personal con los niveles más altos de calificación.

Entre 1985 y 1986, el CINVESTAV-Irapuato recibió el 60% de los fondos totales de CONACYT para la investigación en este campo. La mayor parte de este financiamiento, 55% en 1985 y 89% en 1986, se invirtió en la compra de infraestructura para el desarrollo de ingeniería genética vegetal, es decir, para la construcción y equipamiento del centro en Irapuato. Descontando la cantidad destinada a la infraestructura y considerando sólo la destinada a los proyectos de investigación, el CINVESTAV-Irapuato es la unidad que recibió la mayor cantidad de apoyo financiero en esos años.

Es posible discernir un patrón especial en los apoyos otorgados por el CONACYT. En 1985 se recibieron los mayores fondos, los cuales fueron reducidos en 1986 y para 1987 eran prácticamente inexistentes. Esto puede explicarse si tomamos en consideración la crisis económica por la que atravesaba el país y que se profundizó en 1986, coincidiendo con los últimos dos años de ese período presidencial.

Para las unidades de investigación que trabajan con biotecnología vegetal, existen diversas fuentes de financiamiento. Éstas proporcionan fuentes alternativas para continuar el apoyo de las actividades de investigación, dada la limitación de los fondos

CUADRO 3.11
BIOTECNOLOGÍA VEGETAL: APOYO FINANCIERO DE CONACYT
1984-1987 MILES DE PESOS (1982=100)

<i>Unidades de investigación</i>	1984	1985	1986	1987
FQ-UNAM	2 015	4 608	3 588	494
IB-UNAM	—	1 898	357	178
CEFINI-UNAM	—	2 258	357	1 495
ENEP-Z-UNAM	2 877	2 351	139	—
FCB-UANL	—	—	—	—
ESCB-UABC	—	—	—	—
CG-CPCH	1 058	8 523	2 967	2 274
LE-CF-CPCH	1 257	27	67	—
LM-CF-CPCH	—	—	506	—
CB-CPCH	1 018	2 159	284	667
DF-UACH	—	—	—	—
F-INIA-UACH	195	24	—	—
IMM-UAAA	—	—	—	—
CICTUS	39	—	—	—
DF-ENCB-IPN	—	—	—	—
DB-ENCB-IPN	—	—	—	—
CIIDIR	—	—	—	—
CINVESTAV-DF	—	—	—	—
CINVESTAV-Irapuato	9 177	49 564	18 166	5 437
CAE-Z-INIFAP	—	—	—	—
CAE-GT-INIFAP	—	—	—	—
CAE-P-INIFAP	—	—	—	—
CAE-L-INIFAP	—	—	—	—
PNP-INIFAP	—	—	—	—
DF-CONAFRUT	—	—	—	—
ISETA	—	—	—	—
CIB	—	—	—	—
CICY	10 179	8 612	3 322	1 711
CIATEJ	—	1 067	179	36
PT-CIMMYT	—	—	—	—
PM-CIMMYT	—	—	—	—
INMECAFE	—	—	—	—
FLOR-CONAFRUT	—	—	—	—
PROTINBOS	—	—	—	—
CM-OAX	—	—	—	—
CUERVO	—	—	—	—
BIOGEMEX	—	—	—	—
MIPROMEX	—	—	—	—
TOTAL	27 815	81 091	29 932	12 256

FUENTE: Datos clasificados con base en entrevistas personales y estadísticas del CONACYT de apoyo financiero a la ciencia y la tecnología, *Ciencia y Desarrollo*, núms. 61, 62, 68, 69, 74, 75, 79 y 81, CONACYT, México.

nacionales. Existen algunos ejemplos: en 1987, el CEFINI-UNAM recibió financiamiento de cuatro fuentes exteriores, dos de ellas internacionales: la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y la Comunidad Económica Europea. Por otra parte, CINVESTAV-Irapuato es la institución que recibe la mayor cantidad de fondos y que ha logrado diversificar sus fuentes de financiamiento. Entre 1986 y 1987, recibió fondos provenientes de la Fundación Ricardo Zevada, COSNET, el Programa México, así como de la Academia Nacional de Ciencias, la OEA, la UNESCO y la Fundación Rockefeller. Esta diversificación en las fuentes de financiamiento es una política deliberada, ya que antes de 1987 se dependía mucho de los recursos provenientes del gobierno mexicano. Los investigadores del CINVESTAV-Irapuato están conscientes de que los cambios políticos que ocurrirían en 1988 muy probablemente implicarían cambios en los fondos provenientes del gobierno. Debido a ello, esta unidad ha comenzado ya a centrar su atención en las fuentes exteriores para garantizar la continuidad de los proyectos en curso.

De manera paralela, las unidades de investigación en esta área también han obtenido fondos a través de acuerdos de colaboración establecidos con empresas públicas y privadas.⁵ Las instituciones que mantienen este tipo de acuerdos son: CINVESTAV-Irapuato, CICY y el Instituto de Biología de la UNAM. Esta última fuente de financiamiento significa para algunos investigadores la posibilidad de continuar desarrollando investigación básica, puesto que es difícil obtener fondos exteriores para este tipo de estudios, particularmente de la industria, ya que ésta sólo se interesa en resultados concretos a corto plazo. Sin embargo, algunos investigadores han explicado que a través de contratos con la industria es posible obtener equipo y materiales de laboratorio, así como fondos reducidos que pueden utilizarse en proyectos de investigación básica posteriores.

A partir de la información reunida durante el trabajo de campo en torno a las cantidades de los presupuestos en los centros de investigación sobre biotecnología vegetal, podría estimarse que los ingresos totales de las grandes unidades de investigación en 1987 fluctuaron entre 335 000 y 426 000 dólares. Por lo que toca a las grandes unidades de investigación, el patrón actualmente es constituir sus grandes presupuestos principalmente a partir de fondos exteriores.

⁵ Esta información se recopiló durante las entrevistas realizadas en el trabajo de campo. Los acuerdos de colaboración se abordarán en la sección referente a las aplicaciones productivas de la biotecnología vegetal.

3.4.3 Relaciones entre las unidades de investigación

El mundo de la biotecnología vegetal en México no es muy amplio a pesar de que existen 38 unidades de investigación en este campo. Un aspecto que caracteriza la creación de nuevas instituciones de investigación en México es que se establecen con investigadores de otras instituciones ya existentes. Por ejemplo, algunos investigadores del CICY provienen del Departamento de Bioquímica de la UNAM. El resultado es que casi todos los investigadores se conocen, ya que han tenido la oportunidad de interactuar tanto en su fase formativa como en las instituciones en que han realizado trabajos con anterioridad.

En 1980 se fundó la Asociación Mexicana de Cultivos de Tejidos Vegetales (AMCTV), que como ya lo mencionamos antes, a partir de 1982 ha estado afiliada a la Asociación Internacional de Cultivos de Tejidos Vegetales. Durante algunos años, la AMCTV publicó un boletín informativo y en 1984 se llevó a cabo la primera reunión nacional sobre cultivos *in vitro* (Robert y Loyola, 1985).

Los canales de comunicación entre los científicos que realizan investigación en este campo no han sido ni permanentes ni continuos. El objetivo de la reunión de 1984 era centrar la atención de los investigadores en el tema de las prioridades, necesidades y posibilidades de esta área de investigación en México. La preocupación nació entre los científicos como resultado del crecimiento del área de investigación y la cada vez mayor dispersión y duplicación de los temas de estudio. Algunos de los antiguos directores del AMCTV se lamentan de que su iniciativa no haya generado respuestas adecuadas, ni provocado una mayor actividad y participación por parte de los miembros del AMCTV (Robert, 1986). Esta falta de interés se refleja en el hecho de que desde 1986, el AMCTV no ha logrado cambiar su junta administrativa ya que no había candidatos para suceder a quienes ya habían terminado su período en el cargo (Robert, 1986). Esto significa que los investigadores en biotecnología vegetal no poseían en 1987 una plataforma nacional bien organizada para discutir los avances y logros de sus estudios, y mucho menos para evaluar las prioridades de investigación en este campo.

Los temas de investigación se eligen en cada unidad y a menudo son los propios científicos quienes lo hacen. En el período cubierto por este estudio se notó que sólo existían unos cuantos proyectos que abarcaban más de una unidad de investigación. Los ejemplos de colaboración entre dos o tres unidades eran los siguientes:

a) El proyecto *Catharantus roseus*, entre el Departamento de Bioquímica de la UNAM y el CICY. Esta colaboración existió hasta 1986, pero desde 1987, el proyecto pertenece sólo al CICY. Este año, el investigador de la UNAM se unió al personal del centro en Mérida, Yucatán.

b) El proyecto *Capsaicine* entre el CINVESTAV-Irapuato y el CINVESTAV-DF.

c) El trabajo en torno a la micropropagación de cítricos, en colaboración entre la Universidad de Sonora, la UANL y los campos experimentales de General Terán en Nuevo León y Zacatepec en Morelos. Estos últimos dos centros pertenecen al INIFAP, organización gubernamental responsable de la investigación forestal, agrícola y ganadera en México.

d) Antes de 1987 existía un acuerdo entre el laboratorio de Cultivo de Tejidos de la Universidad Autónoma de Chapingo y el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), para el desarrollo de cultivos de tejidos de café en este instituto.

e) Desde 1974 existe un acuerdo de colaboración entre el Departamento de Bioquímica de la UNAM y el Colegio de Posgraduados de Chapingo en el campo de los estudios básicos, particularmente en bioquímica.

f) La colaboración informal entre el CINVESTAV-Irapuato y el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo a través de un estudiante de doctorado dedicado al desarrollo del cultivo *in vitro* del amaranto en Chapingo. Ésta es una fase del trabajo en ingeniería genética que preocupa particularmente al CINVESTAV.

A pesar de este tipo de colaboraciones, existe una enorme duplicación de esfuerzos, ya que diferentes instituciones pueden decidir, cada una por su cuenta, trabajar sobre temas de investigación similares sin conocimiento de lo que otros están haciendo. Éste es el caso, por ejemplo, del trabajo de micropropagación del agave. En 1986, existían tres diferentes proyectos de investigación simultáneos en torno a este tema. En cada uno de ellos se intentaba desarrollar un método para la producción masiva de plantas de diversas especies. El laboratorio de CTV de la UACH, el LB-CPCH y el CICY participaron en el trabajo. Estos tres estudios se llevaron a cabo sin comunicación alguna entre los investigadores responsables, lo cual sin duda se debió a la gran competencia existente entre las tres instituciones, puesto que la industria tequilera comenzó a interesarse en los cultivos *in vitro* para mejorar la provisión de esta materia prima. El CICY obtuvo un contrato con la compañía

Tequila Cuervo, la cual, hasta cierto punto, lo obligó a mantener en secreto los avances conseguidos. Éste fue el primer ejemplo en el que la aplicación de la micropropagación del *Agave tequilana* se convirtió en una aplicación tecnológica de cultivo *in vitro* para usos comerciales.

Otro ejemplo de investigación sin una comunicación institucional de importancia, y que tuvo como resultado la duplicación de esfuerzos, es el caso de la papaya. Este cultivo ha venido investigándose durante varios años en el CF-CPCH. En 1986, CONAFRUT, la organización gubernamental de investigación frutícola, supuestamente con fácil acceso a la información sobre las investigaciones en proceso en el país, decidió estudiar cultivos *in vitro* utilizando este material. Sin embargo, a principios de 1987 aún no establecían comunicación con el CPCH.

Simultáneamente a la duplicación de los esfuerzos de investigación, existen también otras situaciones que son resultado de la competencia entre instituciones de investigación. La política de algunas de éstas por mantener el control de ciertos temas de investigación los lleva a intentar frenar a otros que incursionan en sus territorios. En 1986, el Departamento de Biofísica del ENCB-IPN tuvo la idea de iniciar el trabajo en torno a la embriogénesis del café, para lo cual acudieron al INMECAFE en busca de materiales vegetativos. El INMECAFE, para entonces, ya trabajaba en colaboración con la UACH sobre el mismo tema. Debido a ello, el INMECAFE se negó a darles el material necesario, argumentando que ya trabajaban en la misma línea de investigación. Este ejemplo demuestra que en circunstancias específicas, un centro de investigación puede impedir a otras instituciones la realización de actividades en áreas muy relacionadas, evitando así la posibilidad de una competencia local.

La falta de lazos interinstitucionales es muy común en esta área de investigación. En el caso de la investigación con caña de azúcar, se suscitó una situación curiosa entre 1985 y 1986. La investigación de este producto se lleva a cabo en centros de investigación estatales, entre los que existe una división del trabajo muy clara. Sin embargo, en el estado de Morelos, el Instituto para el Mejoramiento de la Producción Azucarera (IMPA), así como el CAE Zacatepec (dependiente del INIFAP), llevaron a cabo trabajos simultáneos en torno al mejoramiento genético de la caña de azúcar a través de la variación somaclonal, pero sin establecer comunicación en torno al tema y sin siquiera estar enterados de los esfuerzos realizados por los otros.

Esta falta de comunicación entre instituciones implica no sólo una duplicación de esfuerzos, sino también la incapacidad para combinarlos en el trabajo de dos o más instituciones en aspectos relacionados de un tema de investigación. Un ejemplo de ello es el caso del trabajo sobre biotecnología vegetal industrial, cuando los investigadores implicados podrían haberse complementado entre sí al combinar dos enfoques diferentes: el de la bioquímica y la bioingeniería. En 1987, no existían perspectivas de llevar a cabo el trabajo de manera cooperativa por parte de las dos instituciones mencionadas.

Finalmente, otro factor que obstaculiza los lazos interinstitucionales tiene que ver con las diferentes orientaciones o enfoques de los distintos proyectos de investigación. Esto se ejemplifica en ciertos trabajos sobre biología molecular, en los cuales existen dos orientaciones muy diferentes: la del CINVESTAV-Irapuato, que posee un objetivo de aplicación muy definido, y el del CEFINI-UNAM, cuya orientación es básica. Este contraste ya era obvio para los investigadores de estos centros y se dieron ciertos signos de un contacto que podría producir repercusiones interesantes en esta área de investigación por medio de una colaboración complementaria.

3.5 Vinculación con el sector productivo

La biotecnología vegetal se caracteriza por varios tipos de relaciones con el sector productivo y que van desde la colaboración informal con empresas para el desarrollo de un proceso, hasta la aplicación productiva de procesos desarrollados en unidades de investigación (cuadro 3.12).

Las características de estas relaciones y aplicaciones varían con las áreas de investigación incluidas en la biotecnología vegetal. Consecuentemente, es importante presentar un análisis individual de cada una de estas áreas y especificar la naturaleza de sus relaciones.

3.5.1 Aplicaciones productivas de la micropropagación

El campo de la micropropagación es, sin duda, el que presenta los ejemplos más frecuentes de una aplicación productiva. En México, las técnicas de micropropagación se aplican en relación con los procesos productivos de tres maneras diferentes.

CUADRO 3.12
BIOTECNOLOGÍA DE PLANTAS:
VINCULACIÓN CON EL SECTOR PRODUCTIVO

Unidades de investigación	Sector público	Sector privado	Procesos biotecnológicos
-IB-UNAM	-SEDUE		-Micropropagación de cactus y orquídeas para prevenir su extinción
-LB-CG-CPCH	-FAPATUX		-Micropropagación de pinos seleccionados
-IB-UNAM		-VIIRIUM	-Micropropagación de toloache (<i>Datura innoxia</i>)
-CICY		-Tequila Cuervo	-Micropropagación de <i>Agave tequilana</i>
-LB-CG-CPCH	-CMO		-Micropropagación de <i>Agave potatoris</i>
-CINVESTAV-Irapuato	-TABAMEX		-Resistencia del tabaco a virus
-CAE-Z	-INIFAP		-Mejoramiento genético del jitomate

FUENTE: Datos clasificados de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos de octubre de 1986 a junio de 1987.

a) Primero, existen unidades de micropropagación que realizan investigación o desarrollan procesos para una empresa pública o privada. Un ejemplo es el trabajo sobre micropropagación que se lleva a cabo en el Instituto de Biología de la UNAM, y que intenta rescatar algunas especies de cactus u orquídeas en peligro de extinción. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) ha aplicado ciertas técnicas en este sentido en la reserva ecológica de la UNAM y en el estado de Chiapas.

Otros casos incluyen, por ejemplo, el proyecto desarrollado por el LB-CG-CPCH para la micropropagación de diversas pináceas en la plantación forestal de "La Sabana", de la fábrica de papel de Tuxtepec (FAPATUX), y el proyecto de micropropagación de la planta silvestre *Toloache* (*Datura innoxia*) desarrollado por el IB-UNAM para la empresa estatal Vitrium.

b) Segundo, existen unidades que, además de llevar a cabo investigaciones, también ayudan a una empresa a establecer una instalación de micropropagación para la producción a gran escala.

Un ejemplo de lo anterior es el proyecto sobre *Agave tequilana* para la compañía Tequila Cuervo, y el del *Agave potatoris* para la producción de mezcal en el Centro de Micropropagación del gobierno del estado de Oaxaca (CMO). En ambos casos, las unidades de investigación, es decir el CICY y el LB-GC-CPCH, han participado activamente en la creación de instalaciones para la micropropagación en el plano comercial. Esto implica que las unidades de investigación han desarrollado un método para micropropagar las especies deseadas y son capaces de asesorar a las empresas en la operación de su planta.

Este interés de las empresas por crear sus propias instalaciones de micropropagación nace de la falta de materias primas, lo cual es un problema general de las industrias mezcalera y tequilera. Ello se explica, en parte, debido a la negligencia con que estas agroindustrias han tratado el aspecto agrícola de sus empresas (Robert, 1986). Actualmente, confrontada con la escasez y las normas de calidad de sus productos mucho más estrictas, impuestas por la Secretaría de Comercio (SECOFI), las empresas están buscando maneras rápidas de aumentar la producción de sus materias primas, entre las cuales, la micropropagación resulta una alternativa interesante a los métodos tradicionales de cultivo.

Es importante, en este contexto, detallar las diferentes formas de acuerdos de colaboración entre estas empresas y las unidades de investigación. En 1987 sólo existían unos cuantos proyectos con este tipo de relaciones y de aplicación de los procesos tecnológicos desarrollados por los centros nacionales de investigación.

El proyecto *Agave tequilana* entre el CICY y Tequila Cuervo comenzó en 1986, cuando la unidad recibió 20 millones de pesos (31 354 dólares) con objeto de desarrollar un método para la micropropagación de esta especie. El proyecto recibió además financiamiento del CONACYT, del cual el proyecto ya había recibido aproximadamente 20 millones en 1985 (64 458 dólares). A finales de 1986, ya se había desarrollado un método y el CICY capacitó a los técnicos de Tequila Cuervo para la operación del laboratorio instalado en el estado de Jalisco. Este laboratorio debía producir 250 000 plantas de *Agave tequilana*, que posteriormente serían responsabilidad exclusiva de la empresa tequilera. Ésta era la responsable de entregar las plantas micropropagadas a los agricultores

del país. El investigador del CICY responsable del desarrollo del método, opina que la micropropagación podría resultar un proceso rentable, pero también que actualmente existen otros métodos de propagación vegetal más baratos (Robert, 1986). Además, el CICY, continuando su experiencia con esta empresa, ha decidido seguir trabajando con *Agave tequilana* e iniciará un proyecto de fitomejoramiento con esta especie.

El otro ejemplo interesante de este tipo de relación en un proceso biotecnológico es el proyecto *Agave potatoris*. Durante 1985, se promovió en el estado de Oaxaca una iniciativa para formar un Centro de Micropropagación (CMO) con fondos del gobierno del estado. Se trató de la iniciativa de un funcionario del gobierno, consciente de los problemas de la industria mezcalera y que procedía de una familia directamente involucrada con esta industria que poseía relaciones personales con miembros de LB-CG-CPCH y del Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca (ITAO). Debido a su posición en el gobierno, en 1985 logró obtener un financiamiento de 22 millones de pesos (70 904 dólares), para montar una instalación y micropropagar masivamente plantas de *Agave potatoris* (Enríquez, 1987).

A pesar de estos antecedentes, al aplicar el proceso, el CMO debió enfrentar muchos problemas, puesto que el método aún no estaba lo suficientemente desarrollado y, en la práctica, el Centro no logró la producción masiva. También había problemas de contaminación de material vegetal y una tasa de germinación muy baja, lo cual no había sido previsto por el método propuesto. Además, el método era tan improvisado que ni siquiera había sido escrito y los detalles tampoco resultaban claros. En otras palabras, este Centro no había desarrollado una tecnología seria que pudiera competir con los métodos tradicionales de propagación vegetal que actualmente se aplican en algunas regiones de Oaxaca. Por todo lo anterior, el Centro decidió en 1986 discontinuar el trabajo con la *Agave P.* y dar prioridad a la micropropagación de otras especies como el nopal, las plantas ornamentales y la fresa, las cuales ofrecían mejores oportunidades para la micropropagación y para las que existían métodos ya practicados en muchas zonas.

El objetivo de la micropropagación del nopal no era tanto de la planta misma, sino de la producción de *Grana cochinitilla*, insecto que crece en algunas especies de nopales y se utiliza para producir un colorante natural rojo, cuyo valor comercial es muy alto. Sin embargo, la micropropagación de esta especie no se justifica

comercialmente, puesto que una vez establecidas las plantaciones se mantienen sin la necesidad de micropropagación.

Los datos anteriores que limitan la producción del agave y el nopal, modificaron los objetivos iniciales del CMO, ya que este centro fue creado con la idea de reproducir especies características de esta región del país. En 1986, el centro se dedicó a trabajar y comercializar especies que no tenían nada que ver con las actividades agrícolas del estado, como fue el caso de las especies ornamentales y la fresa.

c) Tercero, existen laboratorios comerciales de micropropagación tanto privados como públicos. Son cuatro las compañías de micropropagación que los crearon: la Comisión Nacional de Fruticultura (CONAFRUT); Productora y Manufacturera Forestal Mexicana (PROTINBOS); Biogenética Mexicana (BIOGEMEX), y Mexicana de Micropropagación (MIPROMEX).

Todas ellas trabajan con plantas ornamentales y flores. Su producción no se relaciona con la venta de flores directamente al público, sino con la venta de materiales vegetativos para invernaderos los cuales, a su vez, producen flores a partir de éstos.

En 1987, una gran proporción de material vegetal certificado y utilizado para la producción de flores provenía del extranjero, ya que México no era autosuficiente en este campo. Esto significa que hay una oportunidad importante para la sustitución de importaciones. Sin embargo, algunas de estas empresas, específicamente BIOGEMEX, no se interesan en el mercado nacional y su política se dirige más hacia la exportación de sus productos y como resultado de lo anterior, han buscado contratos de producción con operadores extranjeros. Antes de 1987, esta empresa operaba en pequeña escala, pero ya tenía planes para aumentar su producción y esperaba producir en el corto plazo dos millones de plantas *in vitro* anualmente (Gallegos, 1987).

Es difícil calcular exactamente cuántas compañías utilizan micropropagación en el país. Existe un interés creciente por invertir en micropropagación, con el uso de técnicas ya conocidas y probadas, para producir empresas muy rentables, particularmente enfocadas a la exportación. Algunos investigadores que trabajan con técnicas de cultivos *in vitro*, han decidido abandonar sus actividades de investigación para crear pequeñas empresas y producir estos materiales vegetales, lo cual sin duda les proporciona la oportunidad de obtener mejores ingresos que con sus actividades académicas.

En lo concerniente a la micropropagación, hay muy poco interés por parte de las compañías para crear relaciones con las unidades de investigación en biotecnología vegetal. Ello se debe a que las empresas no necesitan asesoría científica ni técnica en lo que se refiere a los métodos, puesto que trabajan con especies cuya micropropagación es más bien rutinaria y bien conocida en la literatura científica. Lo que necesitan son investigadores que comprendan las técnicas de cultivo de tejidos vegetales.

3.5.2 Aplicaciones productivas del mejoramiento genético

En México, el trabajo para el mejoramiento genético de plantas está sujeto a lo establecido por la Ley de Interés Público, promulgada luego de la creación del Sistema Nacional de Producción, Certificación y Comercio de Semillas (Barkin, 1982). Esta ley establece que los individuos sólo podrán trabajar en el mejoramiento genético cuando el Estado lo permita. Por ley, cualquier trabajo en mejoramiento genético está reservado para el INIFAP y para las empresas estatales que estudian cultivos específicos como Tabamex, Azúcar, S. A. e INMECAFE. Se trata de una política deseable porque de esta manera, los cultivos genéticamente modificados podrían ser para beneficio público.

En la cadena de producción de semillas mejoradas, INIFAP es el primer paso, ya que genera los materiales mejorados; la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) es el segundo paso, ya que multiplica los materiales mejorados generados por el INIFAP. Sin embargo, PRONASE no es la única compañía de semillas en México. Existen otras empresas privadas tanto nacionales como extranjeras también dedicadas a la multiplicación de semillas mejoradas y cuyos materiales se exportan.

Si se desea que la biotecnología vegetal tenga efecto en el fitomejoramiento, deben establecerse relaciones con los estudios convencionales en fitomejoramiento, lo que implica que pueden existir diversas opciones para los biotecnólogos: *a*) integrar la fase completa de fitomejoramiento convencional en su trabajo; *b*) formar una relación con el INIFAP o alguna de las compañías estatales, o *c*) formar lazos con las empresas privadas, generalmente subsidiarias de las grandes compañías transnacionales.

De los proyectos de investigación en curso durante 1987 en el área del mejoramiento genético de las plantas, sólo tres estudios tenían relación a través de alguno de los acuerdos mencionados

en el párrafo anterior: CINVESTAV-Irapuato con la empresa estatal TABAMEX; el INIFAP con su proyecto de mejoramiento genético de tomates y avocado al trabajo en la fase convencional de fitomejoramiento, y el CIMMYT, que produce líneas mejoradas de maíz y trigo para los programas nacionales de mejoramiento vegetal en países en desarrollo, y que en México trabaja en relación con el INIFAP.

A pesar de que CINVESTAV-Irapuato esta consciente de la importancia de la incorporación de sus trabajos de ingeniería genética al INIFAP, esta relación aún no ha logrado formalizarse. Ello ocurre, en primer lugar, debido a que los estudios de ingeniería genética se encuentran en sus etapas iniciales, y segundo, debido a que INIFAP no ha logrado asesorar al CINVESTAV con respecto a las especies y a otros problemas similares de gran importancia en varias partes del país. Los investigadores de CINVESTAV solicitaron en 1986 a las autoridades del INIFAP información para poder definir sus prioridades de investigación, pero no la obtuvieron oportunamente (Herrera, 1986).

CINVESTAV y la empresa estatal TABAMEX han acordado, durante un período de tres años, intentar el desarrollo en plantas de tabaco resistentes a un virus que asuela constantemente su producción. Este acuerdo es factible por diversas razones: la empresa TABAMEX controla todo el tabaco que se produce en México y es una compañía rentable con buenos recursos y financiamiento. Esto hace que la continuidad del proyecto sea relativamente segura. Por otra parte, el tabaco es una especie a la que se han aplicado diversas técnicas de ingeniería genética, por lo que los investigadores pueden demostrar resultados en el corto plazo y generar credibilidad para las nuevas técnicas en biotecnología entre los industriales, agricultores y la población en general. El tabaco es una especie fácil de manejar y los investigadores en este campo tienen una confianza total en la aplicación de técnicas de ingeniería genética (Herrera, 1986).⁶

La empresa TABAMEX asignó en 1986 fondos por 1 120 millones de pesos (755 816 dólares) a CINVESTAV, con objeto de tratar de mejorar la resistencia del tabaco al virus. La responsabilidad de CINVESTAV es producir 5 000 semillas de plantas inmunes. TABA-

⁶ Luis Herrera Estrella, uno de los principales investigadores del equipo del CINVESTAV, ha desarrollado técnicas de ingeniería genética para el tabaco, siguiendo sistemas derivados de *Agrobacterium tumefaciens*. Herrera formó parte del equipo de investigación coordinado por M. Van Montagu de la Universidad de Ghent, Bélgica, uno de los principales grupos en el mundo que trabaja en la introducción de material genético a las plantas.

MEX llevará a cabo entonces evaluaciones y el trabajo de multiplicación de las semillas con ingeniería genética. Se trata de actividades que aún son inciertas debido a los factores sociopolíticos que afectan a estas compañías.

Por otra parte, el CAE-Z-INIFAP, el cual trabaja en el mejoramiento genético del tomate con técnicas de biotecnología, presenta una situación diferente y mucho mejor, en lo tocante a las posibilidades de aplicar las variedades mejoradas. Esta institución posee un campo experimental que depende del INIFAP. En este centro experimental se integran el laboratorio de cultivos *in vitro*, donde se aplica la técnica de rescate de embriones, y el departamento en el que se llevan a cabo las actividades de mejoramiento de plantas. Esta estructura de organización facilita la aplicación de mejoramiento genético.

3.5.3 Aplicaciones del cultivo industrial de tejidos vegetales

Las unidades de investigación que trabajan en la producción de metabolitos secundarios a partir de cultivos agrícolas, lo hacen sólo en el laboratorio y algunas veces más bien a nivel de investigación básica. En este campo no se han detectado relaciones con el sector productivo y mucho menos del tipo de proyectos financiados con el objetivo de hallar una aplicación inmediata.

A partir del análisis presentado en torno a las relaciones de la investigación en biotecnología vegetal con el sector productivo, vale la pena subrayar que existe un gran número de centros que han establecido acuerdos de colaboración. Esta situación se debe principalmente a dos factores: en primer lugar, el atractivo económico de las técnicas de micropropagación y, en segundo, estos acuerdos representan la forma en que los centros de investigación universitarios pueden adquirir recursos, para garantizar la continuidad de sus actividades.

CAPÍTULO 4

LA BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL EN MÉXICO

Introducción

Este campo de la investigación, que para los propósitos de este análisis calificaremos como biotecnología agroindustrial, se refiere a los procesos que se desarrollan con base en sustratos derivados de las actividades agroindustriales. El destino final de estos sustratos es crear productos que puedan utilizarse en la agricultura, así como en las industrias ganadera y alimentaria.

En este capítulo analizaremos el potencial de México en la investigación biotecnológica que utiliza subproductos agrícolas o desechos agroindustriales. Estos sustratos se reciclan por medio de técnicas biotecnológicas y son enriquecidos proteicamente para utilizarse como alimento para ganado o como insumos agrícolas, tales como biofertilizantes o bioinsecticidas. Los desechos también constituyen un sustrato para la producción de insumos para la industria alimentaria como aditivos, aminoácidos y enzimas.

La biotecnología agroindustrial incluye el trabajo desarrollado en la tecnología de fermentación, de enzimas, la bioingeniería y el mejoramiento genético de microorganismos. Debemos subrayar que aunque algunos autores conciben a la nueva biotecnología como algo fundamentalmente basado en el desarrollo y las aplicaciones de técnicas de ADN recombinante, en las últimas décadas hemos visto otros avances importantes en las tecnologías de fermentación y enzimas que se volvieron esenciales para el desarrollo de las nuevas biotecnologías. En el área de fermentaciones, Higgins (1965) afirma que las técnicas de producción y el tratamiento de materiales de desecho son dos campos en los cuales se ha llegado

a importantes avances. En relación con la ingeniería de enzimas, su aislamiento, inmovilización y estabilización son avances que constituyen las características principales de estas biotecnologías (Higgins, 1985). A continuación, daremos una descripción de cada una de las tecnologías analizadas en este capítulo, y definiremos las técnicas y sus usos.

a) Tecnologías de fermentación

Como es bien sabido, estas tecnologías dependen de los mecanismos utilizados por ciertos microorganismos para su crecimiento y reproducción en condiciones predeterminadas. En los primeros procesos de fermentación, las condiciones dependían de la ausencia de oxígeno, como en el caso de la producción de alcohol, en la que se lleva a cabo la fermentación anaeróbica. Posteriormente, se desarrolló el proceso de fermentación aeróbica, primera fase de la biotecnología moderna, la cual consistía en el desarrollo de microorganismos en un sustrato de biomasa, del cual éstos obtienen energía mediante el proceso de oxidación controlada de sustancias químicas en bióxido de carbono en agua (Higgins, 1985).

El avance en las técnicas de fermentación y el perfeccionamiento de los procesos mediante el uso de biorreactores ha posibilitado la intensificación de la producción alimentaria y, en particular, la generación de productos mediante la sustitución de procesos químicos por procesos microbiológicos. Entre los ejemplos de ello está la producción de ácido cítrico y proteínas de origen microbiano. El objetivo del desarrollo de estas tecnologías es el logro de procesos más eficientes y más económicos. Ello ha sido posible gracias a tecnologías mejoradas como la fermentación continua: un proceso en el cual se mantiene el estado dinámico al lograr una tasa de crecimiento estable del microorganismo, mediante un nivel constante de dilución volumétrica del cultivo producido por la adición de un medio de crecimiento (Beech, *et al.*, 1985). Estos avances también se han beneficiado por el desarrollo de dos tipos de reactores como los fermentadores de torre aérea y los nuevos métodos para la floculación de células microbianas, que reducen los costos de la centrifugación (Litchfield, 1984).

Los procesos de fermentación se diferencian mediante las características del sustrato utilizado y la escala de producción. Los

biotecnólogos hablan de fermentación sumergida cuando el sustrato contiene un alto porcentaje de humedad, y de fermentación sólida cuando el agua del sustrato es eliminada y la fermentación ocurre cuando su contenido de humedad es de entre 50% y 60% (Litchfield, 1984). La fermentación de estado sólido se utiliza para aumentar el valor de los productos derivados de los desechos agrícolas y forestales, transformándolos en forrajes. La fermentación sumergida generalmente se utiliza en operaciones a gran escala, mientras que la fermentación de estado sólido es una tecnología que puede desarrollarse tanto a escala pequeña como industrial (Carrizales y Jaffe, 1986). Estos autores consideran la fermentación de estado sólido como una tecnología apropiada para los países en desarrollo, opinión que discutiremos con más detalle posteriormente.

b) Tecnología de enzimas

Las enzimas, como las utilizadas en la industria alimentaria (proteinasas) se obtenían tradicionalmente a partir de fuentes vegetales y animales. Actualmente, éstas han sido sustituidas hasta cierto punto por enzimas producidas por vía microbiana (Higgins, 1985). Durante los últimos 20 años, ha aumentado el número de enzimas y su utilización en las industrias farmacéutica y alimentaria; las utilizadas en esta última tales como las proteasas, glucamilasas, alfa amilasas y las isomerasas glucosadas se producen a gran escala (Sasson, 1984). Más recientemente, otras enzimas como la B-galactosidasa (lactasa), se utilizan a gran escala industrial para hidrolizar la lactosa de la leche descremada, obteniendo así un producto libre de lactosa para consumidores deficientes en la producción de lactasa intestinal (Higgins, 1985).

Sin embargo, las enzimas son productos costosos y existen numerosos problemas relacionados con su estabilidad y recuperación. Las técnicas que hoy en día se desarrollan para la inmovilización de enzimas, permiten su utilización en procesos continuos una vez que la enzima se instala en el reactor y ha sido fijada a un soporte que le impide moverse. Best (1985), afirma que sólo se dispone actualmente de cuatro aplicaciones industriales para la tecnología de inmovilización de enzimas: la producción de isomerasa glucosada, aminiacilasa, penicil acilasa y lactasa. Esta última se inmoviliza en partículas de sílice y se utiliza para convertir a la lactosa del suero en glucosa y galactosa. Las aplicaciones potencia-

les de las enzimas inmovilizadas son, en el futuro cercano, muy atractivas, ya que su uso en el diagnóstico se aplica no sólo en la medicina, sino también en la detección de tóxicos como pesticidas y otras sustancias en el agua y los alimentos.

c) Bioingeniería

En este contexto, la bioingeniería se refiere al diseño de equipo utilizado en los procesos biotecnológicos. Ello incluye la investigación para el diseño de nuevo equipo, así como la adaptación de equipo importado a las condiciones locales. La bioingeniería desempeña una parte cada vez más importante en los procesos biotecnológicos, puesto que el diseño y la construcción de equipo a gran escala permite industrializar y optimizar procesos diseñados en el laboratorio. La bioingeniería incluye el diseño y la construcción de equipo para las diferentes etapas de los procesos biotecnológicos, que van desde la fermentación, la separación y el aislamiento de los productos, hasta el secado, la recuperación y la purificación de estos materiales.

El manejo de grandes volúmenes de productos y la separación a gran escala de proteínas son también partes de la bioingeniería. Por medio de ésta, es posible mejorar la eficiencia y la economía de los procesos, ya que permite la recuperación continua de productos y concentraciones mayores de éstos (Hacking, 1986).

d) Mejoramiento genético de microorganismos

Este apartado se refiere a la investigación que se está realizando para el mejoramiento genético de microorganismos de importancia industrial. Según Sasson (1984), las principales técnicas utilizadas en el mejoramiento genético son: mutagénesis, fusión de protoplastos y ADN recombinante. Este trabajo tiene como objetivo superar las dificultades creadas por el aislamiento de cepas que resultan de mutaciones espontáneas. La fusión de protoplastos se refiere a las crecientes posibilidades de la recombinación natural y, por medio de técnicas de ADN-r, su meta es garantizar la transmisión de genes naturales e incluso crear nuevos.

El mejoramiento genético de microorganismos desempeña un papel muy importante en el desarrollo industrial de procesos

biotecnológicos y su objetivo es aumentar la producción de sustancias generadas a partir de estos procesos. Algunos ejemplos de ello son los antibióticos y los aminoácidos, así como una mayor eficiencia en estos procesos, y menores costos. La manipulación genética de microorganismos como bacterias, levaduras y hongos tiene como objetivo un mayor rendimiento para optimizar los procesos que intervienen en su producción.

Una vez definidas las diversas técnicas que se emplean en la investigación en biotecnología agroindustrial, en las siguientes secciones presentaremos un análisis de las actividades que se llevan a cabo en este campo de la investigación en México. Este análisis tomará en consideración los criterios discutidos en la metodología y que se relacionan con la naturaleza de las instituciones, el contenido de las líneas de investigación, las limitaciones científicas y técnicas, los problemas relacionados con la factibilidad económica de los procesos, así como la disponibilidad de recursos humanos y materiales y los patrones de enlace con el sector productivo.

4.1 Unidades e instituciones de investigación: orígenes y situación actual

Durante varias décadas, México ha participado en la investigación relacionada con la biotecnología agroindustrial, basada en lo que algunos autores definen como biotecnología tradicional. Esta fase de la biotecnología se refiere al uso de microorganismos para la producción de bebidas fermentadas (Quintero, 1985). Los primeros usos de las técnicas de fermentación en México se remontan a la época precolombina. Sin embargo, para el propósito de este estudio, sólo nos referiremos a los inicios de la investigación institucional en centros de educación superior, en el período comprendido entre 1940 y 1960.

La biotecnología en México tuvo uno de sus principales orígenes en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Dentro del campo de la microbiología comenzó a tomar forma un área dedicada a la investigación específica del uso de desechos industriales. La investigación de los microorganismos y sus usos en diferentes sustratos para la producción de proteínas de origen unicelular (POU), se inició en la década de 1960 y se concentró en el uso de productos derivados del petróleo como fuente tanto de carbono como de energía para la biosíntesis, aunque ya en los años cuarenta los

investigadores habían comenzado a realizar estudios sobre amilasas y otras enzimas microbianas que podían utilizarse industrialmente (Pérez Miravete, 1984).

Posteriormente, de manera institucionalizada, el desarrollo de la biotecnología iniciado en la ENCB-IPN continuó en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (DBB) del CINVESTAV. El DBB se creó en 1972, cuando se dio especial importancia a sus aplicaciones en alimentos y el medio ambiente, destacando el desarrollo de la bioingeniería para proveer la infraestructura sobre la cual se apoyarían los avances biotecnológicos.

En el caso de la UNAM, el actual Departamento de Biotecnología del Instituto de Investigaciones Biomédicas (DB-IIB), creado como departamento independiente en 1977, se inició en 1972 como una sección del Departamento de Biología Molecular. Ya en 1975 existían seis laboratorios de biotecnología que cubrían áreas como la producción de forrajes a partir de excretas animales, la inmovilización de enzimas mediante la utilización de glucosa isomerasa, el mejoramiento genético de cepas para la producción de aminoácidos y el escalamiento de procesos (Sánchez, 1986). Durante este período, muchos de quienes iniciaron la investigación en biotecnología en la UNAM recibían sus entrenamientos postdoctorales en el exterior y a su regreso se incorporaban al Instituto.

En 1982 se creó un nuevo centro en la UNAM, el Centro de Investigaciones de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIIGEBI), que en 1992 se transformó en Instituto de Biotecnología. En este centro se abrió un Departamento de Biotecnología, el cual comenzó a absorber a los investigadores provenientes del IIB. Por lo que toca a la orientación biotecnológica, el CIIGEBI se ha concentrado en la ingeniería genética y el Departamento de Biotecnología representaba en 1987 una pequeña parte de éste.

En 1979 se abrió un Departamento de Biotecnología en la Universidad Autónoma Metropolitana, plantel Ixtapalapa (UAM-I), y algunos de los investigadores del IIB de la UNAM se unieron a éste y centraron su investigación en los alimentos.

Este recuento no tiene como objetivo presentar la historia de la biotecnología en México, sino simplemente un esbozo de los orígenes de las instituciones. También vale la pena subrayar que este campo de la investigación ya ha realizado avances importantes en México y su desarrollo institucional le ha permitido generar una infraestructura que consiste en personal capacitado, instalaciones y equipo en las instituciones de investigación.

El objetivo de estos breves comentarios es explicar que los actuales avances en la biotecnología agroindustrial en México son producto de esfuerzos realizados durante varias décadas. Aunque el siguiente análisis es de carácter estático, y se refiere a la situación que prevalecía entre 1986-1987, es importante recordar que la actual infraestructura es resultado de los esfuerzos tanto de los investigadores como de los centros de investigación realizados durante muchos años.

Al igual que en el caso de la biotecnología vegetal, las instituciones que realizan investigación en este campo están formadas por pequeños laboratorios, así como por grandes departamentos cuya principal preocupación es la biotecnología agroindustrial. Para determinar la lista de instituciones que realizan investigación en biotecnología agroindustrial utilizamos diversos criterios. Entre éstos podemos mencionar: *a*) unidades de investigación cuyo trabajo en biotecnología cubre algún sustrato de origen agrícola o agroindustrial; *b*) unidades de investigación dirigidas a la producción de forrajes o alimentos; *c*) unidades de investigación biotecnológica dirigidas a la producción de insumos para la agricultura por medios biológicos (insecticidas y fertilizantes), y *d*) unidades de investigación biotecnológica dirigidas a la producción de aditivos para la industria alimentaria.

El cuadro 4.1 enumera las unidades de investigación en donde se realizaron entrevistas o en las que se respondió al cuestionario enviado por correo en este campo, acerca de las cuales disponemos de suficiente información como para incluirlas en nuestro análisis. En este cuadro, las unidades de investigación se clasifican según los orígenes de sus presupuestos y las funciones que se les asignaron en los centros de educación superior en México. Según estos criterios, existen cinco diferentes tipos de unidades: *a*) universidades autónomas; *b*) universidades, institutos y centros estatales y federales; *c*) institutos tecnológicos regionales; *d*) organizaciones públicas descentralizadas, y *e*) instituciones privadas.

Las universidades autónomas reciben fondos de un subsidio federal y de otras fuentes de financiamiento cuya distribución interna obedece a criterios esbozados por la institución. Los centros estatales y federales reciben su presupuesto del gobierno y deben observar los objetivos generales de política determinados por las instituciones gubernamentales. Los institutos tecnológicos regionales, aunque manejados principalmente por instituciones estatales o federales, adoptan diferentes formas de organización y

CUADRO 4.1
UNIDADES DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
AGROINDUSTRIAL

<i>Dependencia administrativa</i>	<i>Unidades de investigación</i>	<i>Siglas</i>	
Universidades autónomas	-Dept. de Alimentos, Facultad de Química, UNAM	FQ-UNAM	
	-Dept. de Biotecnología, Inst. de Investigaciones Biomédicas, UNAM	IIB-UNAM	
	-Dept. de Biotecnología, Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología, UNAM	CIIGEBI-UNAM	
	- Dept. de Diseño, Centro de Instrumentos, UNAM	CI-UNAM	
	-Unidad de Biotecnología, Centro de Fijación del Nitrógeno, UNAM	CEFINI-UNAM	
	-Dept. de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Ixtapalapa	UAM-I	
	-Fac. de Química, Universidad Autónoma del Estado de México	FQ-UAEM	
	-Fac. de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León	FCB-UANL	
	Centros y universidades federales y estatales	-Dept. de Ingeniería Bioquímica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN	DIB-ENCB-IPN
		-Dept. de Graduados e Investigación, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN	DCI-ENCB-IPN
-Dept. de Microbiología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN		DM-ENCB-IPN	
-Dept. de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación y Estudios Avanzados		DBB-CINVESTAV	

CUADRO 4.1
INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL [cont.]

<i>Dependencia administrativa</i>	<i>Unidades de investigación</i>	<i>Siglas</i>
	-Dept. de Bioingeniería, Instituto de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara -Centro de Investigación y Enseñanza en Agricultura y Alimentación, Universidad de Guanajuato	IMCP-U.Guad. CIEAA-U.Guad.
Institutos y tecnológicos regionales	-Centro de Graduados, Instituto Tecnológico de Veracruz -Centro de Graduados, Instituto Tecnológico de Mérida -Centro de Graduados, Instituto Tecnológico de Durango -Dirección de Investigación, Instituto Tecnológico de Sonora	ITV ITM ITD ITS
Instituciones descentralizadas	-Dept. de Biotecnología, Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial -Dept. de Biotecnología y Bioingeniería, Instituto Mexicano del Petróleo -Laboratorio de Micrología, Instituto Nacional en Recursos Bióticos	LANFI IMP INIREB
Instituciones privadas	-Unidad de Microbiología, Centro de Investigación en Química Aplicada -Centro de Investigación y Asistencia, Técnica de Jalisco -Instituto Mexicano de Tecnologías Apropriadas	CIQA CIATEJ IMETA

FUENTE: CONACYT, *Ciencia y Desarrollo*, núms. 61, 62, 68, 69, 74 y 75, México, 1985-1987; COSNET (1984): *La investigación en biotecnología y bioingeniería: Catálogo 1984*, SEP, México.

su principal objetivo es su integración al aparato productivo regional. Las organizaciones públicas descentralizadas son creadas por acuerdos entre diversas instituciones gubernamentales y después de cierto tiempo se les otorga cierta libertad relativa en cuanto a su política de investigación, aunque continúan recibiendo fondos estatales o federales. Las instituciones privadas constituyen una minoría y están representadas en esta área de investigación por una asociación.

Como puede apreciarse en el cuadro 4.1, gran parte de las unidades de investigación en este campo dependen de la UNAM o del IPN. Por lo que respecta a la localización de estas unidades de investigación, el 54% se encuentra en la ciudad de México y el otro 46% en el resto de la República, lo cual simplemente es reflejo de la centralización que persiste en el país.

Por lo que toca al tipo de instituciones de educación superior donde se localizan estas unidades de investigación, ocho pertenecen a universidades autónomas, seis a universidades o institutos estatales o federales, cuatro a instituciones tecnológicas regionales, cinco a organizaciones descentralizadas y una al sector privado. De ello podemos concluir que la investigación en biotecnología agroindustrial se lleva a cabo actualmente en una amplia variedad de centros de educación pública, aunque con diferentes estructuras organizativas.

Las 24 instituciones enumeradas en este cuadro constituyen la base del análisis del estado de la biotecnología agroindustrial en 1987. Es importante enlistar a las instituciones en las que no se realizaron entrevistas y donde no se respondió al cuestionario. El cuadro 4.2 incluye la información en torno a las líneas de investigación de esas instituciones, obtenidas de diversas fuentes de información secundaria (COSNET, 1984; CONACYT, 1985). Se trata fundamentalmente de unidades de investigación de universidades autónomas y estatales localizadas en sus facultades de ciencias químicas.

4.2 Campos de investigación en biotecnología agroindustrial

Para el propósito de este análisis y dadas las técnicas utilizadas en la biotecnología agroindustrial, a las que hicimos referencia al principio de este capítulo, las unidades de investigación han sido agrupadas en cuatro categorías: *a*) fermentaciones, *b*) tecnología enzimática, *c*) bioingeniería, y *d*) mejoramiento genético de mi-

CUADRO 4.2
UNIDADES DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
AGROINDUSTRIAL, NO INCLUIDAS

Pertenencia administrativa	Unidades de investigación	Supuestas líneas de investigación
Universidades Autónomas	-Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Autónoma de Yucatán -Facultad de Química, Universidad Autónoma de Nuevo León -Universidad Autónoma de Tamaulipas -Facultad de Química, Universidad Autónoma de Sinaloa -Facultad de Química, Universidad Autónoma de San Luis Potosí -Facultad de Química, Universidad Autónoma de Chihuahua	-Procesamiento integral de la yuca -Melazas para producción de etanol -Rastrojos de soya y sorgo para la producción de fertilizantes y bioinsecticidas -Usos del bagazo de caña -Mecanismos de regulación de <i>Cellulomonas flavigensis</i> -Fermentación en estado sólido de <i>opuntia</i> -Concentrados proteicos -Diseño de un reactor enzimático -Melazas y suero de leche para la producción de biomazas e insecticidas
Universidades estatales	-Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Durango -Facultad de Química, Universidad de Guadalajara -Facultad de Química, Universidad de Veracruz -Universidad de Sonora	-Residuos agrícolas para alimentación animal -Bioingeniería -Melazas para producción de biomasa y ácido y ácido acético -...
Institutos tecnológicos regionales	-Instituto Tecnológico de Celaya -Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez	-Melazas para producción de biomasa y POU -Aguas residuales de la industria de maíz para producción de vitamina B12 y bioinsecticidas
Instituciones descentralizadas	-Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAO)	-...

FUENTE: COSNET (1984): *La investigación en biotecnología y bioingeniería: Catálogo 1984*, SEP, México.

croorganismos. Por lo que respecta al campo de las fermentaciones, existen dos tipos de técnicas utilizadas: fermentación aerobia, la cual puede ser sumergida o sólida, y fermentación anaerobia. La tecnología enzimática se clasifica según las diferentes etapas de esta tecnología, es decir, la producción, la separación y la inmovilización de enzimas. La bioingeniería está constituida por el diseño, la construcción y el manejo de equipo para las fases de fermentación mediante el proceso de recuperación. El mejoramiento genético de microorganismos puede lograrse por medio de técnicas genéticas clásicas, es decir, mutagénesis e hibridización, así como técnicas de ingeniería genética, es decir, ADN-r.

Luego de concentrar la información reunida durante el trabajo de campo, que siguió la clasificación expresada en el párrafo anterior, puede observarse en el cuadro 4.3 que la mayor parte de las unidades de investigación trabajan con técnicas de fermentación sumergida y un número importante de unidades están desarrollando técnicas de bioingeniería. Existen sólo dos instituciones que realizan investigación en torno a la inmovilización de enzimas y cinco unidades están desarrollando proyectos de investigación en mejoramiento genético, de las cuales sólo cuatro unidades utilizan técnicas de ingeniería genética.

En el campo de la fermentación sumergida, se utilizan diversas técnicas y procesos y se basan tanto en tecnología importada y adaptada, como en los avances tecnológicos diseñados y generados por los centros de investigación mexicana. La mayoría de estas instituciones trabajan con fermentaciones sumergidas por lote, es decir, procesos no continuos. No obstante, algunas instituciones como el CIQA y el CINVESTAV-DF han comenzado a trabajar con procesos continuos, mientras que otros, como el IMCyP-U.Guad, trabajan en el diseño de un reactor para el uso de procesos continuos de propósitos múltiples.

Es interesante señalar que entre las instituciones que trabajan con fermentación sólida están, aparte de la UAM y el CINVESTAV-DF, diversas unidades regionales. Éstas desarrollan diferentes técnicas que van desde los sistemas de fermentación sólida en estado estacionario, hasta la fermentación para sistemas agitados. Aunque las unidades de investigación que trabajan con fermentación sólida son pocas, éstas utilizan diversos microorganismos. Así, de las siete instituciones que trabajan con fermentación sólida, sólo dos utilizan el mismo sustrato. Las cinco restantes trabajan con numerosos sustratos entre los que se incluyen almidones de maíz, amaranto, trigo, pulpa de café, pulpa de henequén (*Agave fourcroy-*

CUADRO 4.3
CAMPOS DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL

Unidades de investigación	Fermentaciones			Tecnología enzimática		Bioingeniería	Mejoramiento genético	
	Sumer-gida	Sólida	Anae-robía	Produc-ción y separa-ción	Inmo-viliza-ción		Muta-génesis	ADN-r
FQ-UNAM	X	X	X				X	
IIB-UNAM	X			X			X	
CIIGEBI-UNAM	X			X		X		X
CI-UNAM						X		
CEFINI-UNAM	X			X				
UAM-IX		X	X					X
FQ-UAEM		X				X		
FCB-UANL	X			X				
DIB-ENCB-IPN	X							
DCI-ENCB-IPN	X							
DM-ENCB-IPN	X			X				
DBB-CINVESTAV	X	X	X		X	X	X	X
IMCP-U.Guad.	X			X		X		
CIEAA-U.Guan.		X				X		
ITM	X	X		X		X		
ITV	X			X		X		
ITD	X					X		
ITS	X	X				X		
LANFI	X					X		
IMP	X					X		
INIREB	X					X	X	
CIDA	X							
CIATEJ	X			X				
IMATA		X				X		
(24=100x)	19 79.2%	8 29.2%	3 12.5%	9 33.3%	1 8.3%	14 58.3	4 16.7%	3 12.5%

FUENTE: Datos elaborados con base en entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos, octubre de 1986 a junio de 1987.

des) y desechos de brócoli y coliflor. En estos procesos de fermentación sólida, se utilizan microorganismos muy diferentes y se aíslan cepas de hongos, de levaduras y de bacterias.

En el terreno de la tecnología enzimática, y más específicamente en los proyectos de investigación que se refieren a la

producción y separación de enzimas, la atención principal está dada a las pectinas obtenidas de desechos de frutas, las células para la industria alimentaria, las proteasas y las quitinasas, así como la inmovilización de la enzima B-galactosidasa para la producción de leches deslactosadas. Por lo que respecta a la bioingeniería, cuyo desarrollo en México siguió a la institucionalización de la biotecnología, es interesante señalar que un número significativo de instituciones (14 unidades), que representaban más de la mitad, trabajaban en este terreno. Estas unidades se centran en el diseño de equipo y en la instalación de plantas piloto que incluyen todas las etapas del proceso productivo, incluyendo la recuperación del producto. Con respecto a este último aspecto, hay que subrayar que sólo el CINVESTAV-DF, el ITS y LANFI poseen el equipo necesario para llevar a cabo la recuperación de los productos finales.

Por último, el mejoramiento genético de los microorganismos utilizados para los procesos de fermentación, se desarrolla en seis unidades de investigación. Se trata de una actividad importante si se quiere optimizar y volver económicamente viables los procesos. La mayoría de estas instituciones trabajan en el mejoramiento genético utilizando técnicas de ADN-r. El CINVESTAV-DF es la única institución que ha integrado esta actividad a un proyecto general de investigación en torno al bagazo de caña de azúcar para la producción de POU.

4.3 Sustratos, técnicas y productos finales: viabilidad científico-técnica y factibilidad económica

Puesto que es difícil separar en este trabajo las líneas de investigación que se desarrollan en las unidades estudiadas de las técnicas, sustratos y productos, en esta sección intentaremos examinar todos esos elementos de manera conjunta. También incluimos el análisis de dos de los criterios metodológicos propuestos para la evaluación de las actividades de investigación biotecnológica: la viabilidad científico-técnica y la factibilidad económica. Por otra parte, se subrayan los problemas científicos y técnicos que deben superar los investigadores que trabajan con determinados sustratos y técnicas: dicho de otra manera, las limitaciones, o dificultades que aún deben solucionar los investigadores. Haremos referencia a aquellos procesos que, una vez solucionadas estas limitaciones, todavía deberán optimizar su factibilidad económica

para garantizar su rentabilidad y, por consiguiente, la posibilidad de su aplicación.

Debido a la gran variedad de sustratos que se investigan, los proyectos de investigación se clasificaron por grupos de sustratos, según sus características y composición. Este enfoque sugiere la siguiente clasificación: *a)* carbohidratos; *b)* residuos lignocelulósicos, y *c)* otros sustratos. Entre los carbohidratos, se incluyen aquellos sustratos que constituyen las fuentes de carbono y energía para desarrollar diferentes procesos biotecnológicos (Litchfield, 1984). Los residuos lignocelulósicos incluyen fundamentalmente aquellos sustratos formados por un complejo de lignina-hemicelulosa-celulosa que no resulta fácilmente hidrolizado por enzimas o ácidos para liberar los azúcares fermentables (Litchfield, 1984). En la categoría de otros sustratos, se incluyen varios que no poseen las características antes mencionadas y por consiguiente tienen composiciones muy específicas. En el cuadro 4.4 se especifican los

CUADRO 4.4
RESIDUOS AGRÍCOLAS Y SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES POR
GRUPOS DE SUSTRATOS INVESTIGADOS

<i>Grupos de sustratos</i>	<i>Cultivos, residuos y subproductos</i>
Carbohidratos	-melazas -yuca -suero de leche -residuos de frutas -residuos hortícolas -tubérculos -amaranto
Residuos lignocelulósicos	-bagazo y bagacillo de caña -pajas de trigo -pulpa de henequén -bagazo de guayule -cascarilla de arroz -residuos forestales
Otros residuos	-desechos quitinósicos -metanol -estírcol -aguas residuales de diferentes industrias -pulpa de café

FUENTE: Esta clasificación incluye una amplia variedad de sustratos usados por los biotecnólogos y está basada en la información recopilada de entrevistas personales y entrevistas a biotecnólogos, octubre de 1986 a junio de 1987.

CUADRO 4.5
BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: RESIDUOS, SUBPRODUCTOS Y
PRODUCTOS FINALES QUE SE OBTENDRÁN
(Número de unidades de investigación por área)

<i>Productos finales</i>	<i>An</i>	<i>Ad</i>	<i>Ez</i>	<i>Or</i>	<i>Mb</i>	<i>Ed</i>	<i>Al</i>
Residuos y subproductos							
<i>Fuente de carbohidratos</i>							
Melazas	4	1	-	2	1	-	-
Yuca	4	1	1	-	-	-	1
Suero de leche	4	-	3	-	-	-	-
Residuos de frutas papa y amaranto y rastrojos de maíz	5	-	6	-	-	-	-
<i>Residuos lignocelulósicos</i>							
Bagazo de caña y guayale	8	-	2	1	-	1	-
Rastrojo de trigo y cascarilla de arroz	2	1	4	-	-	-	-
Pulpa de henequén	1	-	2	-	-	-	1
Residuos forestales	1	-	-	-	-	1	-
<i>Otros</i>							
Residuos quitinósicos y de la pesca	1	-	1	-	-	-	-
Metanol	1	-	-	-	-	-	-
Estiércol	3	-	-	1	-	-	1
Aguas residuales	5	2	2	2	-	-	4

An: Alimentos para animales y POU por la alimentación animal

Ez: Enzimas, aminoácidos y vitaminas

Mb: Metabólitos secundarios

Ad: Aditivos alimentarios

Or: Fertilizantes orgánicos y bioinsecticidas

Ed: Hongos comestibles

FUENTE: Datos clasificados con base en entrevistas personales, octubre de 1986-julio de 1987.

grupos de sustratos y los subproductos y residuos que se incluyen en cada uno de ellos y en el cuadro 4.5 los productos finales que se obtendrán.

Las siguientes subsecciones se refieren a las especificidades de cada una de estas áreas de investigación, incluyendo la información acerca de las instituciones donde se investigan estos sustratos, las técnicas utilizadas y los tipos de productos que se obtendrán.

4.3.1 Carbohidratos

El cuadro 4.6 muestra la información acerca de instituciones que investigan sustratos que representan una fuente de carbono y energía.

1) En primer lugar están las melazas, que son el subproducto de la cristalización del azúcar y uno de los productos más atractivos tanto por su abundancia y localización, como por sus características químicas, las cuales permiten su fácil utilización como fuente para la obtención de diversos productos (De la Torre, 1986).

Actualmente, siete instituciones de investigación biotecnológica trabajan con melazas y todas ellas utilizan técnicas de fermentación sumergida, tanto mediante procesos por lote como con cultivos continuos. El CINVESTAV-DF se destaca como la institución más avanzada en la utilización de este sustrato, puesto que ha logrado adaptar la tecnología aplicada en Cuba, y que se basa en el proceso austriaco Vogel para la producción de levadura torula. Esta institución inició en 1987 un proyecto de planta piloto que incluía un nuevo fermentador híbrido de 10m³. Este fermentador es diferente de la versión cubana y utiliza un proceso totalmente automatizado, diseñado y construido en México. Los objetivos son la optimización de este fermentador, mejorando la rentabilidad y diversificación de los usos del producto y utilizándolo tanto como levadura para forrajes como en la producción de saborizantes para la industria alimentaria.

Otras instituciones están utilizando la fermentación sumergida para desarrollar usos alternativos de este subproducto, tales como la producción de bioinsecticidas, metabolitos (como el ácido láctico para la industria alimentaria), y aceites microbianos. En estos dos últimos usos, la producción de POU se considera como subproducto. El proyecto de bioinsecticidas es un ejemplo notable de un proyecto interinstitucional que se lleva a cabo entre la FCB-UANL y el ITD.

La producción de POU en estos proyectos no aparece como un objetivo central o único debido a la actual falta de rentabilidad del producto. En consecuencia, los procesos deben dirigirse hacia

CUADRO 4.6
 INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON SUSTRATOS FORMADOS
 POR CARBOHIDRATOS

<i>Sustratos</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Productos</i>
Melazas	UAM-I+IIB-UNAM OBB-CINVESTAV	-Fermentación sumergida	-Biofermel (compuesto energético para animales)
	ITV	-Fermentación sumergida -Bioingeniería	-Bioinsecticida
	CIQA	-Fermentación por lote alimentado	-Metabolitos secundarios para la industria alimentaria -Ácido láctico
	ITD	-Fermentación sumergida -Bioingeniería	-Bioinsecticidas
	FCB-UANL	-Fermentación sumergida -Bioingeniería	-Bioinsecticidas
	DB-ENCB-IPN	-Sistema de simulación por computadora de un proceso de fermentación	-Aceites microbianos -POU -Pastos forrajeros
Yuca	UAM-Ixtapalapa	-Fermentación sólida	-Yuca enriquecida
	DBB - CINVESTAV	-Fermentación sólida	-Yuca enriquecida
	LANFI	-Fermentación sumergida	-Yuca enriquecida
	FQ - UNAM	-Deshidratación -Alternativas para secado	-Diseño y construcción de un secador
	ITV	-Fermentación sumergida -Bioingeniería	-Uso integral: alimentación animal, enzimas, alcohol jarabes frutuosados
Suero de leche	CIIGEBI - UNAM	-Tecnología enzimática:	-Enzima B - galactosidasa

CUADRO 4.6
 INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON SUSTRATOS FORMADOS
 POR CARBOHIDRATOS (cont.)

<i>Sustratos</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Productos</i>
		-Fermentación sumergida	-POU
	DBB-CINVESTAV	-Tecnología enzimática, inmovilización -Fermentación de cultivo continuo -Purificación enzimática	-Enzima B-galactosidasa -Leches deslactosadas
	DGI-ENCB-IPN	-Fermentación sumergida	-Aminoácidos -Biomasa
	ITV	-Fermentación sumergida	-Medios de cultivo
Suero de leche	GIQA	-Fermentación de cultivo continuo -Mejoramiento genético -Mejoramiento del proceso	-Complementos proteicos para animales -POU enriquecida con metionina
	ITD	-Fermentación de cultivo continuo -Bioingeniería	-Yogur -Cultivos lácticos puros
	IIB-UNAM	-Fermentación sumergida -Tecnología enzimática	-Enzimas pectinasas
Cítricos	ITM	-Fermentación sumergida -Tecnología enzimática	-Enzimas pectinasas
	CEFINI-UNAM	-Tecnología enzimática	-Enzimas pectinasas
Residuos de frutas	FQ-UAEM	-Fermentación sólida	-POU
Residuos de brócoli y coliflor	CIEAA-U.Guan.	-Fermentación sólida -Bioingeniería	-Alimentos para animales

CUADRO 4.6
 INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON SUSTRATOS FORMADOS
 POR CARBOHIDRATOS (cont.)

<i>Sustratos</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Productos</i>
Residuos de papa	CIQA	-Fermentación en estado continuo -Mejoramiento genético	-Biomasa -POU enriquecida con metionina
	UAM-Ixtapalapa	-Fermentación láctica	-Alimentos para animales
Pajas de maíz, amaranto y trigo y residuos de maíz	CIEAA-U.Guan.	-Fermentación sólida -Bioingeniería	-Proteínas -Vitaminas -Ácidos grasos
	FQA-UAEM	-Fermentación sólida -Bioingeniería	-Concentrados proteicos para procesamientos de sopas

FUENTE: Datos elaborados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos, de octubre de 1986 a junio de 1987.

productos con un mayor valor agregado, lo cual garantizaría su rentabilidad. Esto ha modificado los objetivos iniciales de los procesos desarrollados en el CINVESTAV, puesto que en 1987 se decidió que el principal interés del producto final debía ser su factibilidad económica. La producción de saborizantes para la industria alimentaria muestra cierto potencial al respecto. Estos saborizantes mejoran las características organolépticas de los alimentos, preocupación fundamental de las compañías de alimentos. El uso de la levadura torula como saborizante, podría resultar un medio para reducir las importaciones de otros tipos de saborizantes en las empresas de alimentos, utilizando al mismo tiempo un recurso disponible en el país (De la Torre, 1986). Este uso alternativo de la torula no parece importante en el terreno de la nutrición. Si consideramos que los intereses de la industria alimentaria no son el enriquecimiento proteico de los productos sino mejorar las propiedades organolépticas de productos con un contenido nutritivo bajo, entonces el uso de las melazas como aditivo para alimentos tiende a adecuarse a un patrón inapropiado de consumo de alimentos.

2) Por lo que toca a la investigación en torno a la yuca, el cuadro 4.6 enumera cinco instituciones que investigan sus usos mediante procesos biotecnológicos, aunque sin incursionar en la investigación agrícola de este cultivo. Estas instituciones trabajan fundamentalmente con técnicas de fermentación sólida, utilizando diversos sistemas y diferentes microorganismos. Sólo LANFI utiliza técnicas de fermentación sumergida con yuca fresca. El objetivo, por lo que respecta al uso final, es su enriquecimiento para utilizarla como complemento para la alimentación animal.

Otro de los aspectos que ha tocado la investigación es el desarrollo de una tecnología para el secado de la yuca. Dado que se trata de un cultivo con un gran contenido de humedad, una manera de conservarlo es por medio de su almacenamiento en silos, el cual impide la descomposición de la yuca hasta por seis meses. Sin embargo, luego de su almacenamiento en silos o después del proceso de enriquecimiento, es necesario secarla para evitar la descomposición. El secado es uno de los cuellos de botella de la investigación sobre la yuca. En 1986, el DA-FC-UNAM desarrolló una secadora de yuca con base en un modelo tailandés. Esta secadora es un tipo de horno de nixtamal que seca la yuca en un lapso de entre siete y nueve horas. El modelo adaptado fue financiado por CONACYT y construido por una empresa mexicana.

Algunas instituciones de investigación como el ITV y el CINVESTAV-DF desarrollaron cierto enfoque para el uso integral de la yuca. El ITV investiga la producción de alimentos para ganado, la producción de enzimas y de alcohol. Independientemente de este proyecto del ITV, se llevan a cabo investigaciones para producir jarabes fructuosados a partir de la yuca. El CINVESTAV-DF está investigando formas de enriquecer a la yuca con proteínas, por medio de procesos biotecnológicos. En esta institución, las proteínas contenidas en las hojas del cultivo también se estudian a través de técnicas químicas.

La yuca ha sido seleccionada por investigadores mexicanos como sustrato de almidón para desarrollar y mejorar las técnicas de fermentación sólida. Las mejorías alcanzadas con este sustrato, podrían ampliarse en el futuro a otros cultivos como la papa.

La investigación en torno a la fermentación y enriquecimiento de la yuca apenas se inicia en México. El grupo de investigación más importante en este terreno se encuentra en la UAM-I, promovido por un acuerdo entre la UAM y la Oficina de Investigación Científica y Tecnológica de Ultramar (ORSTOM). ORSTOM es una

organización francesa que promueve la investigación en el exterior y que en 1987 financió la visita de cuatro investigadores franceses a la UAM, encargados de promover el estudio de la fermentación en estado sólido. Otro equipo de investigación bien conocido es el del ITV, el cual pretende lograr el uso integral de este cultivo mediante la biotecnología. El interés de esta institución por el cultivo de yuca surge debido a que la sede del Programa Nacional de la Yuca se encontraba en el estado de Veracruz. Actualmente la sede se encuentra en el estado de Tabasco. El apoyo financiero para el proyecto de investigación del ITV ha disminuido puesto que la sede ya no se encuentra en Veracruz. Finalmente, en el DBB-CINVESTAV se han logrado importantes avances gracias tanto a la tecnología utilizada (un sistema de charolas diseñado por el departamento, que utiliza muy poca energía), como al uso de otros microorganismos en el proceso de fermentación, cuyas variedades han sido aisladas en esta institución. El uso de hongos *Mucorales* ofrecen ciertas ventajas frente al *Aspergillus niger* utilizado por los investigadores de la UAM (Casas-Campillo, 1986).

Algunos investigadores de instituciones que trabajan con yuca han intentado crear y formalizar un grupo nacional para la investigación de la yuca. Una consecuencia de estos esfuerzos es que la UAM ha sido contratada por LANFI para estimular esta área de investigación.

Resumiendo, la investigación de este cultivo cubre tres diferentes tecnologías: a) fermentación sumergida, b) fermentación de estado sólido con utilización de dos diferentes tipos de hongos, *Aspergillus niger* y *Mucorales*, y c) almacenaje en silos. El cuello de botella sigue siendo el secado de la yuca, a pesar de los grandes esfuerzos y los fondos invertidos por el Estado en la elección y el diseño de las secadoras, tecnología que aún no se utiliza para estos propósitos.

El interés en la yuca surgió desde los años setenta. Aunque es probable que esta planta se haya originado en México, no forma parte de la alimentación de la población mexicana como ocurre en otros países latinoamericanos, principalmente en América Central y Brasil. La yuca se adapta a suelos extremadamente ácidos de baja fertilidad, donde no pueden prosperar otros cultivos. Por consiguiente, se propone como un atractivo sustituto del sorgo y como una nueva fuente de forrajes. Actualmente, el patrón de alimentación animal en México se basa en la combinación de sorgo y soya. Sin embargo, el sorgo ha invadido tierras que antes se utilizaban para el cultivo de maíz. El sorgo no se utiliza en México

para la alimentación humana como ocurre en otros países latinoamericanos, por lo que la idea de sustituir el cultivo del sorgo es la de devolver esas tierras al cultivo de maíz y reducir la importación complementaria de este producto. Este objetivo llevó a la formulación del Programa Nacional de la Yuca, cuyo propósito es investigar y explotar nuevos cultivos tropicales que serían apropiados para determinadas zonas geográficas y climáticas en México, particularmente para los estados de Veracruz y Tabasco.

El interés por esta planta en México se deriva de varios factores, entre los que destacan el Programa Nacional de la Yuca, el acuerdo con ORSTOM y el desarrollo de las técnicas de fermentación sólida, utilizando como modelo a la yuca. Estas técnicas podrán aplicarse posteriormente a otros cultivos. Sin embargo, existen muchas dificultades para la utilización de la yuca, debido a que las políticas para estimular su cultivo no se han llevado a cabo y a que el Programa Nacional se ha enfrentado a diversos problemas administrativos. Así, su adopción como fuente de alimentación animal en el futuro cercano es poco probable.

3) La investigación en el uso del suero de la leche se lleva a cabo en seis instituciones de investigación, como lo constata el cuadro 4.5. El suero es un residuo proveniente del cuajo (caseína coagulada) en la fabricación de queso (Hacking, 1986). En México, representa una producción total de 1 000 000 de toneladas anuales que de otra manera resultarían en desperdicio y contaminación.

Puesto que los objetivos en lo tocante a los productos finales son diversos, se han seguido diferentes líneas de investigación con este subproducto: producción e inmovilización de la enzima B-galactosidasa (lactasas); hidrolización de la leche para producir leches libres de lactosa; producción de POU mediante el cultivo de levaduras mezcladas con suero y licor de maíz; producción de biomasa utilizando el hongo *Ustilago* en la fermentación; producción de aminoácidos utilizando lactosa y sales minerales; producción de medios de cultivo a través de sueros en polvo; suplementos de proteínas animales o POU enriquecidas; producción continua de yogur, y producción de lipasas, enzimas utilizadas por la industria alimentaria.

Por lo que se refiere a las técnicas empleadas, existen dos instituciones destacadas que trabajan con tecnología de enzimas: el CINVESTAV-DF y el CIQEBI-UNAM. El primero trabaja en la inmovilización de la enzima B-galactosidasa. Actualmente esta enzima es importada de Gist-Brocades y su inmovilización

representaría una importante reducción de las importaciones, puesto que esta técnica permite el uso de un proceso continuo que permitiría el aumento de la productividad. El CIIGEBI-UNAM ha concentrado su trabajo de investigación en la producción y aislamiento de la misma enzima a partir del suero. Una vez aislada la enzima, esta institución proyecta reunir sus fuerzas con las del CINVESTAV.

Respecto del empleo del suero como sustrato para la producción de POU, son tres las instituciones que pretenden su obtención o la de una biomasa enriquecida. Los investigadores del CIIGEBI-UNAM propusieron en 1987 una estrategia para promover un sistema de producción integrado, con dos objetivos: producir la enzima B-galactosidasa, con la consecuente reducción de su importación y utilizar el subproducto de este proceso (POU) como suplemento proteínico para alimentación animal. La producción de POU es un proceso muy avanzado y en 1987 los investigadores planeaban realizar pruebas en un fermentador de 3 000 litros, así como pruebas biológicas y bioquímicas. El rendimiento promedio de este proceso fue de 1.5 toneladas diarias de POU, proceso cuya industrialización se decidiría en 1987 (Salvador, 1987).

En lo tocante a la investigación para el uso del suero, existen algunos procesos como la producción de POU y la producción continua de yogur, los cuales no presentan problemas de viabilidad científica y técnica. También se alcanzaron interesantes avances en inmovilización de enzimas respecto del diseño de soportes de esférulas, con las cuales se inmovilizan las lactasas. En este caso, se requiere de mayores avances en el diseño del reactor de enzimas para permitir el uso de las enzimas inmovilizadas en la producción de leches deslactosadas.¹

El uso de suero ofrece importantes perspectivas para México, ya que actualmente se utiliza en la industria alimentaria de diversos países, particularmente en Estados Unidos, donde se utiliza para producir proteínas y levadura para pan, así como en Gran Bretaña y Francia (Sasson, 1984).

4) Finalmente, existe otro grupo de fuentes de carbohidratos que consiste en una gran variedad de residuos o subproductos, entre los cuales destacan los residuos de frutas, vegetales, tubércu-

¹ Las enzimas B-galactosidasa se utilizan en la producción de leches deslactosadas, incluidas en la dieta alimenticia de individuos con intolerancia a este producto. En México, la población intolerante a la lactosa es bastante alta e importante, por lo que la producción de leches deslactosadas aumentaría la oferta de productos lácteos para esta población.

los, rastrojo de maíz, amaranto y trigo. En el cuadro 4.6 se enumeran estos residuos, así como los de numerosas instituciones que realizan investigaciones al respecto.

Es importante mencionar que la investigación que emplea estos sustratos se lleva a cabo utilizando casi toda la gama de técnicas biotecnológicas. Los investigadores trabajan con fermentación sumergida por medio de procesos en lote y continuos, fermentación sólida estacionaria y producción de enzimas, así como mejoramiento genético de microorganismos para los procesos de fermentación. La mayoría de las instituciones que utilizan estos sustratos se interesan en el desarrollo de procesos que permiten la producción de POU para generar alimentos enriquecidos para animales, y para producir enzimas.

Las unidades de investigación que trabajan con estos subproductos se localizan tanto en la ciudad de México como en otras regiones de todo el país, principalmente en los estados de Guanajuato, México y Coahuila. Este hecho revela el interés de los investigadores en utilizar materiales de desecho típicos o subproductos de diferentes regiones, a pesar de que la investigación en el plano internacional no se interesa demasiado en su utilización. Esta elección de líneas de investigación le da a la biotecnología en México un carácter específico determinado por el interés en adaptar las tecnologías conocidas al uso y la explotación de diversos recursos nacionales.

4.3.2 Residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos están compuestos por una gran variedad de desechos de cultivos agrícolas y subproductos agroindustriales que incluyen el bagazo de caña, rastrojos de trigo, arroz y cebada, cascarilla de algodón y arroz, residuos forestales, bagazos de guayule y piña y pulpa de henequén. Su presencia en diferentes regiones del país, así como los problemas de contaminación que presentan, han dado lugar a diversas líneas de investigación entre los biotecnólogos mexicanos, quienes intentan hallar usos importantes con sistemas de bioconversión. Este tipo de usos se dirige a diversos sectores, incluyendo la agricultura, la alimentación, la producción de energéticos, el sector de la construcción y la industria del papel. El cuadro 4.7 nos muestra la información respecto de las líneas de investigación de estos residuos, desarrolladas en las instituciones que se analizaron.

CUADRO 4.7
INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS

<i>Sustrato</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Productos</i>
Bagazo y bagacillo de caña	FQ-UNAM	-Degradación de lignina en cultivos sólidos -Mejoramiento de capas	-Hongos comestibles -Subproducto para alimentación animal
	IIB-UNAM	-Fermentación sumergida -Diseño de medios de cultivo	-Enzimas -Suplementos proteicos para animales
	DBB-CINVESTAV	-Fermentación por lote alimentado -Ingeniería básica -Ingeniería genética de microorganismos y mutagénesis	-Biomasa microbiana -Residuos fibrosos proteicos -Fertilizantes orgánicos
	DM-ENCB-IPN	-Degradación de lignina por <i>Aspergillus</i>	-Biomasa enriquecida
	IMCP-U.Guad.	-Lote alimentado -Bioingeniería -Diseño de cultivo continuo	-Forrajes enriquecidos -Proteínas microbianas
	FCB-UANL	-Resiclaje de residuos	-Vitamina A para alimentación animal
Paja de trigo	ITS	-Fermentación sumergida -Fermentación semisólida -Fermentación sólida -Bioingeniería -Mejoramiento de microorganismos	-POU para peces -POU para consumo humano -Complemento vitamínico para consumo humano y animal -Levadura para pan -Goma Xantana -Enzima celulosa para producción alimentaria farmacéutica y textil

CUADRO 4.7
 INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON RESIDUOS
 LIGNOCELULÓSICOS (cont.)

<i>Sustrato</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Productos</i>
Pulpa de henequén	IIB - UNAM	-Fermentación sumergida	-Enzimas
	CEFINI - UNAM	-Fermentación sumergida	-Enzimas
	ITM	-Fermentación espontánea -Fermentación semisólida -Aislamiento de cepas -Bioingeniería	-Enriquecimiento proteico para productos lácteos y alimentación de ganado -Polvos para la producción de esteroides -Etanol
Bagazo de guayule	CIQA	-Mejoramiento del proceso	-Biomasa (POU)
Cascarilla de arroz	DBB - CINVESTAV	-Fermentación sumergida por <i>Aspergillus</i>	-Lignina -Celulosa -Gel de sílice
Residuos forestales	FQ - UNAM	-Cultivos sólidos -Degradación de lignina	-Hongos comestibles -Subproductos para alimentación animal

FUENTE: Datos sistematizados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos, de octubre de 1986-junio de 1987.

Debemos mencionar que el uso de estos residuos se ha aplicado a diversos sectores, sea directamente o después de la aplicación de varias tecnologías. Se utilizan directamente para la producción de combustibles, fertilizantes y acondicionadores de suelos o para forrajes (De la Torre, 1985). Sin embargo, utilizarlos directamente tiene ciertas desventajas, en particular por lo que se refiere a los forrajes, puesto que a los animales se les dificulta digerir estos residuos y, por consiguiente, no pueden beneficiarse totalmente de sus contenidos. Además, dada la gran variedad de usos reales y potenciales de estos subproductos, resulta problemático elegir los destinos más convenientes para ellos. Para realizar

esta elección, deben tomarse en consideración varios aspectos, entre los cuales, la viabilidad científico-técnica, la factibilidad económica y la relevancia social son algunos de los más importantes.

4.3.2.1 Bagazo y bagacillo de caña de azúcar

El bagazo y el bagacillo representan un volumen elevado entre los residuos de la caña de azúcar y se les ha utilizado de diversas maneras, por ejemplo, como combustibles, como materias primas para la industria papelera, para la fabricación de tablas y para la producción de furfural, sustancia química principalmente utilizada en la explotación del petróleo (Arroyo, 1986).

En 1987 se desarrollaban ocho líneas de investigación con estos subproductos, mediante la utilización de todas las técnicas biotecnológicas comprendidas en la biotecnología agroindustrial. Los proyectos de investigación tenían como objetivo diseñar y operar los procesos para la producción de POU y aumentar la digestibilidad de estos residuos en el ganado.

El DA-FQ-UNAM se interesa en la producción de hongos comestibles utilizando un sustrato compuesto por bagazo de caña, aserrín, así como por medio de un cultivo sólido de hongos. Este proceso tiene dos objetivos: producir hongos para el consumo humano, así como un subproducto enriquecido con el micelio del hongo para su uso como forraje.

Por lo que toca al uso de la fermentación sumergida, como puede observarse en el cuadro 4.7, son varias las instituciones que participan. El IIB-UNAM ha avanzado en un proceso de fermentación que utiliza hongos como microorganismos para producir enzimas y suplementos proteicos para el ganado. Esta institución ha abandonado dicho proceso debido a su falta de rentabilidad.

Los avances logrados en el CINVESTAV-DF y en el IMCyP-U.Guad., son diferentes puesto que en 1987 cada uno se concentraba en diferentes aspectos del proceso de fermentación. El IMCyP-U.Guad., se concentraba en el diseño y la operación de un proceso para el tratamiento de bagazo de caña con vapor de alta presión. Este tipo de tratamiento es un requisito fundamental para iniciar el proceso de fermentación, dado el alto contenido de lignina de estos residuos, y debido a que es necesario aumentar su digestibilidad y acelerar la fase de degradación para que estos procesos de fermentación resulten rentables (De la Torre, 1985). En 1987, esta

institución tenía un sistema por lotes y diseñaba un reactor de proceso continuo multipropósito.

El CINVESTAV-DF utiliza un sistema de tratamiento con sosa cáustica, y cuando se disponga de la tecnología de tratamiento de vapor para pre-tratar al sustrato, podrá entonces avanzarse con rapidez en el desarrollo de este proceso. Este centro posee un proceso de fermentación por lotes y actualmente trabaja en el diseño de la ingeniería básica del proceso y en el aumento de su rentabilidad. También tiene una patente registrada para el proceso en su totalidad, el cual ya produce buenos rendimientos, pero que todavía podría mejorar en el terreno de la manipulación de microorganismos, tanto con técnicas genéticas tradicionales para generar mutantes como con técnicas de ingeniería genética que aumenten la eficiencia y los rendimientos. El proceso tiene cuatro etapas: tratamiento, fermentación, recuperación y estudios nutricionales. Los productos que se obtendrán son una biomasa microbiana con 60% de proteínas para producir alimentos apícolas y porcícolas y un residuo fibroso con 12% de proteínas para forraje de rumiantes.

El proceso desarrollado en este centro, según sus investigadores, es competitivo si se compara con el uso de otros sustratos, pero es necesario reducir todavía más los costos para que resulte más atractivo en el terreno comercial (De la Torre, 1986).

En el propio DBB-CINVESTAV-DF se está desarrollando un proceso que utiliza bagazo y bagacillo de caña para la producción acelerada de fertilizantes orgánicos. Si los resultados son rentables, según el investigador responsable de este proyecto, podría competir con el proceso antes descrito (López-Mercado, 1986).

Todavía existen ciertos problemas de rentabilidad con el uso de bagazo y bagacillo de caña, principalmente debido al proceso de pre-tratamiento que requieren estos subproductos antes de la fase de fermentación. Algunas instituciones, entre las cuales está el DBB-IMP, han decidido concentrarse en la aplicación de técnicas de tratamiento químico. En este caso, trabajan con médula de bagazo, un tipo de fibra que no se utiliza ni en las plantaciones de azúcar ni en la producción de papel. Al utilizar un proceso con amoníaco, el objetivo es aumentar la digestibilidad del residuo y posibilitar su uso como forraje para rumiantes. El aumento de la digestibilidad logrado fue de 19% a 50-52% (Hebrero, 1987). En 1986, esta institución decidió abandonar el estudio del POU debido a problemas de bajo rendimiento, y para concentrarse en los procesos químicos.

4.3.2.2 Paja de trigo

Al considerar otros residuos agroindustriales de tipo lignocelulósico, es notable el trabajo que se desarrolla en el ITS con paja de trigo. Esta institución ha integrado una línea de investigación que consiste de varios proyectos, que además de enriquecer el conocimiento acerca del sustrato, diversifica el tipo de productos finales generados de cada una de las etapas del proceso.

En este centro se ha trabajado con fermentaciones sumergidas no estériles, fermentación sólida en proporciones variables de proteínas, y concentración variable de azúcar y fibra, y se ha diseñado y construido una planta piloto y su equipo. Por otra parte, su personal también trabaja en el diseño de un sistema para eliminar ácidos nucleicos y ha logrado adaptar un fermentador con energía celulolítica.

En lo tocante a los productos, se subraya la importancia del POU para animales (peces y ganado), el POU para consumo humano, suplementos vitamínicos para consumo humano y animal, levaduras para pan, goma xantana y celulasas para las industrias alimentaria, textil y farmacéutica.

4.3.2.3 Pulpa de henequén

El DB-IIB-UNAM ha acumulado gran experiencia en los beneficios que pueden obtenerse de la pulpa del henequén. Sus investigadores han experimentado en los procesos de fermentación con hongos para la producción de enzimas (pectinasas) y proteínas para la alimentación. Esta línea de investigación se incorporó en 1987 al trabajo del CEFINI-UNAM cuando se creó una unidad de biotecnología. La investigación de la pulpa de henequén se suspendió en el IIB-UNAM, aunque se avanzó en el diseño de medios de cultivo para el desarrollo de microorganismos con actividad pectinolítica.

El ITM está desarrollando un proceso que utiliza pulpa y jugo de henequén y cuyo objetivo es acelerar el proceso espontáneo de fermentación líquida. También se está trabajando en un proceso de fermentación semisólida con hongos como microorganismo, han logrado aislar el *Aspergillus* y se estudian los problemas relacionados con las escalas de este proceso. La idea es generar varios productos: pulpa enriquecida para forraje de ganado lechero,

harina para la producción de hecogenina y tigogenina para la industria de los esteroides, así como para la producción de etanol como combustible.

4.3.2.4 Bagazo de guayule y cascarilla de arroz

Finalmente, otras instituciones están desarrollando procesos para el uso de bagazo del guayule y la cascarilla de arroz. Primero, el CIQA trabaja en la optimización de un proceso para la producción de bagazo de guayule proteicamente enriquecido. En lo tocante a la utilización de cascarilla de arroz, el CINVESTAV tiene una larga experiencia en su utilización e inicialmente, se usaría como forraje. Dados los problemas que implica degradar la lignina, los investigadores decidieron cambiar sus objetivos para obtener otros productos (De la Torre, 1986). Puesto que posee un alto contenido de silicato, es posible extraer gel de sílica que se utiliza como abrasivo en pastas de dientes y para la vulcanización de hule. También puede utilizarse para la producción de hemoderivados para análisis de laboratorio así como para obtener lignina y celulosa.

La investigación biotecnológica en este campo de los residuos lignocelulósicos, todavía debe superar las grandes limitaciones impuestas por la propia composición de estos residuos. Sus características físicas y químicas son de gran importancia ya que la lignina se enlaza tanto con la celulosa como con la hemicelulosa, lo cual dificulta su uso eficiente. La constitución de la lignina es muy compleja y no ha sido lo suficientemente estudiada. Sólo mediante la degradación de la lignina puede accederse a todos los materiales que podrían transformarse, gracias a los microorganismos, en proteínas y, de lograrse, entonces el proceso podría resultar económicamente viable (Leal-Lara, 1985).

La degradación de la lignina no es concebida de la misma manera por los investigadores que trabajan con estos residuos. Por consiguiente, se plantean diversas opciones para su utilización. La primera consiste en el pre-tratamiento de los residuos, sea mediante un tratamiento químico (con sosa cáustica o amoníaco) o de vapor térmico, cuyo efecto sería la degradación de la lignina antes de su fermentación. Otra opción es el uso de los hongos de la pudrición blanca, los cuales, al ser inoculados al sustrato, producen la degradación de la lignina del residuo. Así pues, el residuo puede enriquecerse con proteínas por medio del micelio del hongo

que queda. Es importante aclarar que estos hongos también pueden resultar un importante alimento humano.

Durante la presente investigación, se hizo patente que esta limitación particular obligó a algunos investigadores mexicanos a abandonar dicha línea de trabajo. Así, el doctor Cruz Camarillo de la ENCB-IPN explicó que desde hace diez años él se encontró con este cuello de botella en la utilización de los residuos lignocelulósicos, debido a las dificultades de separar la celulosa de la lignina. Puesto que el proceso no ha resultado rentable, ya que requiere de un pre-tratamiento costoso, combinado con la escasez de recursos económicos para esta investigación, los beneficios han sido pocos (Cruz Camarillo, 1986). Estos factores tienen como resultado que algunos investigadores prefieran trabajar con otros residuos, los cuales, aunque no son tan abundantes como los lignocelulósicos, presentan menos limitaciones técnicas o económicas.

Si observamos con mayor detalle las tendencias de 1987 en la investigación de los residuos de celulósicos y lignocelulósicos en el contexto internacional, resulta bastante claro que su enfoque es muy diferente al que México ha elegido. Fuera del país, los residuos agrícolas se utilizan para generar productos como ácidos lácticos e incluso para transformar los desechos de celulosa en etanol. En Estados Unidos, estas líneas de investigación se consideran mucho más interesantes y prometedoras. La degradación y transformación microbiana de las sustancias de la celulosa y la hemicelulosa produce etanol y materias primas para la industria química como el furfural, los fenoles y los cresoles. Sólo en la recién desaparecida URSS se consideraban útiles los residuos agrícolas y forestales para la producción de POU (Sasson, 1984). Entre estos residuos, el más frecuentemente utilizado es la cascarilla de semilla de girasol, la cascarilla de arroz, los residuos de la caña del maíz y el bagazo.

Todas estas consideraciones indican que las líneas de investigación sobre el uso de residuos lignocelulósicos en México, las cuales destacan la importancia de la producción de POU, se han visto afectadas por las circunstancias específicas del país. Los investigadores buscan nuevas opciones de alimentación que aprovechen la gran variedad de recursos de los cuales forman parte estos residuos. Esto significa que hasta cierto punto la investigación acerca de los sustratos lignocelulósicos responde a necesidades locales. Esto obliga a los investigadores a enfrentar limitaciones técnico-científicas, las cuales, una vez superadas, podrían resultar la base de la optimización de los procesos, volvién-

dolos económicamente viables y capaces de contribuir a la producción de nuevas fuentes de proteínas para la alimentación humana y animal.

4.3.3 Otros residuos y subproductos

En esta sección analizaremos una amplia gama de subproductos y residuos cuyas características, así como su constitución química y física, son diferentes a los subproductos de los residuos de carbohidratos y lignocelulósicos. El cuadro 4.8 enumera ocho diferentes tipos de subproductos, algunos de los cuales se relacionan con la agricultura y otros con actividades ganaderas y otras industrias.

La investigación acerca de este tipo de subproductos aplica todas las técnicas que forman parte de este campo de la biotecnología agroindustrial. Las técnicas de fermentación anaerobia también se aplican por medio de digestores. Por lo que respecta a los usos de estos sustratos, algunos de ellos como el estiércol y las aguas residuales animales, se utilizan como fuente de energía en forma de gas metano. Otros productos secundarios como el metano y la pulpa de café, se utilizan como fuente para la producción de biomasa bacteriana enriquecida de proteínas para la alimentación animal. El uso de estos sustratos para la producción de enzimas (proteasas, quitinasas, alfa-amilasas) es muy común, así como la producción de ciertos metabolitos para la industria alimentaria como el ácido láctico.

1) La investigación sobre el uso de aguas residuales en el DA-FQ-UNAM es muy interesante, ya que el principal objetivo de este trabajo es el tratamiento de aguas residuales para solucionar problemas de contaminación. Estos procesos incluyen una parte anaerobia con un reactor de leche fluidizado, así como un proceso aerobio. El primero tiene como objetivo producir gas metano y el segundo generar POU como producto secundario. En 1987 ya habían alcanzado la etapa piloto basada en sustratos como el nejayote,² y melazas de caña como sustratos. El objetivo de estos proyectos es la producción *in situ* de biomasa para la alimentación de peces. Por consiguiente, esta institución ha instalado una planta piloto con un criadero de peces detrás del molino de maíz.

² El nejayote es un agua residual proveniente de la nixtamalización del maíz (proceso de cocción del maíz y su preparación para producir la masa que se utiliza en la elaboración de la tortilla).

CUADRO 4.8
INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON OTROS
SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS

<i>Sustrato</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Productos</i>
Residuos quitinósicos	DM-ENCB-IPN	-Fermentación sumergida -Tecnología enzimática	-Enzimas: proteasas, quitinasas -M-acetil-Diglucosamina -Biomasa
Metanol	ITD	-Bioingeniería -Mejoramiento de factibilidad económica -Microbiología y bioquímica	-Alimentos no convencionales
Ecretas animales	UAM-Ixtapalapa	-Fermentación sumergida	-Biofermel (suplemento energético)
	DBB- CINVESTAV	-Tecnología intermedia	-Suplemento energético para alimentación animal
	IMETA	-Formación táctica en sustratos sólidos -Adaptación de tecnología a condiciones de campo	-Suplemento energético para alimentación
	INIREB	-Digestores	-Gas metano -Fertilizantes
Aguas residuales de la industria del azúcar y el alcohol (cachaza y vinaza)	FQ-UNAM	-Proceso de lecho fluidizado -Proceso aerobio	-Gas metano -POU
	DBB-CINEVESTAV	-Mejoramiento de proceso -Tecnología avanzada para digestor anaerobio	-Fertilizantes orgánicos -Reciclaje de vinazas para producción de alcohol -Gas metano
	ITV	-Fermentación	-Inoculantes de frijoles -Biogas
Industria del maíz (nejayote)	FQ-UNAM	-Proceso anaerobio -Fermentación por lote alimentado	-Biomasa para alimentación de peces -Ácido láctico para la industria alimentaria

CUADRO 4.8
INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON OTROS
SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS (cont.)

<i>Sustrato</i>	<i>Unidad de investigación</i>	<i>Técnicas</i>	<i>Productos</i>
	ECB-UANL	-Ingeniería enzimática -Inmovilización de enzimas	-Enzimas alfa-anilaza para la industria cervecera
Aguas residuales de la industria del café	INIREB	-Digestor industrial -Mejoramiento genético de cepas -Fermentación y pasteurización -Reactor anaerobio	-Aguas bajas en oxígeno para cultivos de algas -Aguas para riego -Hongos comestibles (<i>Pleurotus ostreatus</i>) -Alimentos para animales -Fertilizantes orgánicos
	UAM-Ixtapalapa	-Fermentación sólida -Selección de cepas	-Enriquecimiento proteico -Eliminación de sustancias tóxicas
Industria del papel	FQ-UNAM	-Proceso anaerobio -Proceso anaerobio	-Gas metano -POU -Reciclaje de aguas residuales de la industria del papel
Aguas residuales en general	UAM-Ixtapalapa	-Digestor anaerobio -Ingeniería genética de bacterias	-Levaduras para la producción de proteínas -Ácidos nucleicos para la producción de saborizantes
	DBB-CINVESTAV	-Sistemas de lodos activados	-Aguas tratadas para la agricultura
Residuos pesqueros	CEFINI-UNAM	-Hidrólisis	-Consumo humano

FUENTE: Datos sistematizados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos de octubre de 1986 a junio de 1987.

2) El IMETA trabaja en el desarrollo de procesos que utilizan estiércol de bovinos, cuyas características se adaptan al entorno rural. Esta institución aplica un concepto de sistemas integrales para el uso de diferentes subproductos y su trabajo tiene diversos objetivos. La investigación se realiza para adaptar a condiciones rurales los procesos de fermentación láctica en un sustrato sólido a para que, mediante el uso de estiércol de bovinos, pueda producirse un suplemento energético libre de patógenos para rumiantes.

3) Con respecto a la pulpa de café, en el INIREB ya se había desarrollado en 1986 un proceso para el cultivo de hongos en este sustrato, gracias al cual se obtenían alimentos ricos en proteínas para el consumo humano (hongos) y pulpa enriquecida con el micelio del hongo para forraje. Este proceso constituye una tecnología que puede aplicarse en un entorno rural. En combinación con la instalación de un reactor anaerobio, este proceso permite el uso de estiércol animal para producir biogas, con objeto de ser empleado en el proceso de pasteurización de la pulpa antes de la inoculación del hongo. Posteriormente, los hongos se cultivan en la pulpa, y finalmente, se obtiene un forraje enriquecido o un fertilizante orgánico que puede utilizarse como acondicionador de suelos. Este proceso es muy prometedor puesto que, aparte de su relevancia para la alimentación humana, representa un avance científico importante, ya que ningún otro país había logrado cultivar hongos en un sustrato de pulpa de café (Guzmán, 1987). Además, se encontró que el *Pleurotus ostreatus* u hongo ostión posee varias propiedades que alientan su uso, puesto que este subproducto reduce el contenido de cafeína en el forraje enriquecido en un 92.5%, y degrada la lignina, los fenoles y los polifenoles en un 60% (Guzmán y Martínez, 1985). Esto refuerza lo que otros investigadores habían encontrado en lo referente a las características del hongo de la pudrición blanca, en el sentido de que se trata de un microorganismo muy apropiado para los residuos de origen lignocelulósico (Leal-Lara, 1985).

Un grupo de investigación sobre fermentación en estado sólido en la UAM-Ixtapalapa también está considerando el uso de la pulpa de café. Su idea es eliminar las sustancias tóxicas de la pulpa, principalmente la cafeína, seleccionando variedades de hongos que la disuelven eficazmente. No obstante, aún no han intentado degradar los polifenoles, lo cual será el objetivo de un proyecto de investigación posterior (Raimbault, 1987). Por otra

parte, intentan aislar, purificar e identificar cepas de hongos, mediante el uso de hongos filamentosos como el *Trichoderma* y el *Penicillium*. El objetivo de este proyecto de investigación es analizar las cepas de hongos seleccionadas en el laboratorio para determinar si puede eliminarse la cafeína mediante un proceso de fermentación en estado sólido utilizando este microorganismo. Éste es un proyecto de investigación básica y actualmente la industrialización de la pulpa de café para producir forrajes aún no se toma en consideración puesto que, según los investigadores de este proyecto, resulta biotecnológicamente difícil, ya que la pulpa es demasiado húmeda (Raimbault, 1987).

4) El cuadro 4.8 muestra que sólo una institución trabaja con metanol como sustrato para la producción de biomasa enriquecida. El metanol como fuente de POU es una opción que ya no parece atractiva en México por varias razones. Sin embargo, los antecedentes de la investigación con metanol en el país se incluirán en esta sección para demostrar los avances, así como los cuellos de botella que deben enfrentar los investigadores.

El uso de hidrocarburos como sustrato para la producción de POU se inició en México en los primeros años de la década de 1960 en la ENCB-IPN. Desde el principio, el grupo de investigación fue interdisciplinario y se produjo trabajo novedoso con el uso de levaduras como microorganismos. En 1970, este trabajo recibió el Premio de Ciencia y Tecnología de Banamex en la rama industrial. Dos años antes, este grupo propuso la formación de un laboratorio en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). El laboratorio se creó pero no llegó al nivel piloto, ya que, según uno de los miembros de este grupo, no había suficiente interés por parte de esta institución.

El trabajo con metanol ha continuado en el CINVESTAV-DF con el desarrollo de un proceso a base de levaduras, que difiere del utilizado por ICI en Gran Bretaña, cuya base era bacteriana. En 1972, publicaron el primer artículo sobre la obtención de POU utilizando levaduras, que asimilan metanol y etanol (Casas-Campillo, 1972). El proceso del CINVESTAV se desarrolló a nivel de laboratorio, pero todavía debe probarse en el nivel piloto para obtener mayor información acerca de su eficiencia (Casas-Campillo, 1986).

Posteriormente, otros grupos mexicanos siguieron con la investigación utilizando metanol. El IMP regresó en 1978 al proyecto inicial desarrollado por Casas-Campillo y decidió trabajar a nivel semi-piloto aunque la productividad obtenida fue muy baja. El

problema al que se enfrentaron fue que la producción de metanol en México no era suficiente, a pesar de que ya existía una fábrica de metanol con base en gas en Puebla. PEMEX propuso construir otra fábrica para la producción de 300 000 toneladas. En este proyecto, coordinado por la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) y PEMEX, también participaron el IMP y ALBAMEX. Lo que se intentaba era producir 250 000 toneladas de POU (Hebrero, 1987). Sin embargo, la estrategia del gobierno fue comprar a ICI el paquete tecnológico completo para la producción de POU a partir de metanol, incluyendo la tecnología de este último. Esto llevó a la realización de un estudio de factibilidad donde los investigadores del CINVESTAV-DF compararon diferentes sustratos para la producción de POU: bagazos de caña, metanol y melazas de caña. Los investigadores responsables de este estudio de factibilidad demostraron que la producción con metanol era similar a los costos de este mismo proceso utilizando melazas de caña, proceso que una vez optimizado, sería competitivo con el de ICI (De la Torre, 1986). Las conclusiones de este estudio llevaron a la decisión de no adquirir la tecnología de ICI.

A principios de los años ochenta, el CIIGEBI-UNAM comenzó a desarrollar un proyecto para producir POU a partir de metanol utilizando un proceso similar al de ICI. Esta institución colaboró con el IMP antes de este período, aplicando la ingeniería genética al mejoramiento de cepas de bacterias. El proyecto se inició en la década de los ochenta y recibió fondos de SEMIP; sin embargo, a pesar de que se logró cierto éxito, el apoyo económico se suspendió y con la falta de apoyo político, se puso fin al proyecto (Bastarrachea, 1986).

Esta historia de la investigación de metanol en México data, pues, de hace dos décadas, lo que sugiere la hipótesis de que esta línea de investigación en México surgió como resultado de la disponibilidad de recursos naturales petrolíferos, los cuales resultan una alternativa interesante para su uso como fuentes de proteínas. Es decir, se realizaba paralelamente al avance de esta área de investigación en el mundo desarrollado. Así pues, el interés en la producción de POU en México no se ha debido a influencias internacionales, afirmación que se basa en el hecho de que en la década de los setenta, los investigadores mexicanos eligieron utilizar un microorganismo diferente a los utilizados en los países desarrollados.

No obstante, los avances biotecnológicos basados en sustratos de petróleo disminuyeron con rapidez en el momento en que

comenzaron a aumentar los precios del petróleo. Esto significó que hasta 1970 en el mundo desarrollado sólo existía una planta importante (la de ICI) para la producción de POU en Billingham, Gran Bretaña. Esta planta jamás ha operado de manera rentable, particularmente dados los niveles prevaletentes en los precios del metanol (Hacking, 1986).

A partir del análisis presentado en torno a los diferentes sustratos con los cuales los biotecnólogos trabajaban en México, es factible concluir que en este país se han dado importantes avances y desarrollos. Sin embargo, existe una tendencia a duplicar esfuerzos entre las instituciones. Los avances de la investigación en biotecnología agroindustrial no parecen conformar una política de investigación coherente. Se estudia una gran variedad de sustratos, pero no parece haber un acuerdo acerca de los principales productos que tendrían que obtenerse. Como lo afirmamos antes en este capítulo, los diferentes usos de estos sustratos también podrían producir opciones competitivas para sustratos particulares. Los investigadores mexicanos no toman en consideración estos problemas ni tampoco, como lo discutiremos en el siguiente capítulo, se toman en cuenta en las propuestas de política de ciencia y tecnología.

4.3.4 Viabilidad científico-tecnológica y rentabilidad económica

Las secciones anteriores demuestran que existen importantes limitaciones, tanto de tipo científico-tecnológico, como de rentabilidad, para la aplicación industrial de los procesos biotecnológicos. En resumen, éstas son las principales limitaciones científicas y técnicas:

- 1) Muchos de los sustratos utilizados son de origen lignocelulósico. Esto plantea graves problemas técnicos, ya que para su uso como alimentos, es esencial hallar el mecanismo que degrade eficazmente la lignina.

- 2) Si se desea mejorar los procesos que han comprobado ser factibles en el laboratorio, aún habrá que solucionar las limitaciones existentes para obtener el apoyo necesario en infraestructura. La mayoría de las instituciones de investigación no poseen instalaciones piloto y ello no es simplemente por falta de fermentadores de mediana o gran escala, donde pueden comprobarse las ventajas de los procesos; también hay que tomar en cuenta la tecnología de recuperación, puesto que sin ella es imposible hablar de una planta

piloto. En México, sólo seis instituciones han instalado plantas piloto con fermentadores de al menos 100 litros y no todas ellas tienen equipo de recuperación.

Con respecto al equipo, las limitaciones de estos centros de investigación han hecho que algunos investigadores decidan formar una red de plantas piloto que permitiría, por una parte, el uso intensivo de estas instalaciones, y por la otra, su aprovechamiento en las instituciones que carecen de ellas. Esto podría volverse un servicio que ciertas instituciones de investigación podrían ofrecer a otras, adquiriendo así fondos adicionales para la investigación básica. Además de ello, sigue siendo necesario obtener recursos para la bioingeniería que facilitaría el desarrollo endógeno del equipo y los instrumentos necesarios para escalar los procesos biotecnológicos.

3) La tercera limitación es el desarrollo incipiente de las técnicas de fermentación en estado sólido. Ésta es un área de investigación que se estudia en todo el mundo y requiere de mucha más investigación básica para poder comprender el funcionamiento de microorganismos en sustratos sólidos. Los procesos de fermentación en estado sólido se utilizan para aumentar el valor de los subproductos o desechos agrícolas y forestales, así como para transformarlos en alimentos para animales. La fermentación en sustrato sólido es una tecnología que puede desarrollarse tanto a pequeña escala como a escala industrial, y ciertos autores la consideran como una tecnología apropiada para los países en desarrollo (Carrizales y Jaffé, 1986).

Estas técnicas sólo sirven en el caso de sustratos con bajos contenidos de humedad que no tienen que ser secados. Ello normalmente es un proceso costoso y, en el caso de la yuca, parece ser el elemento que presenta los problemas más importantes.

4) Finalmente, una limitación científica resulta aparente en el número tan reducido de proyectos en torno al mejoramiento de los microorganismos, tanto en las técnicas clásicas de crianza como en la ingeniería genética. Esta investigación ha revelado que sólo uno de los proyectos de investigación en ingeniería genética se relaciona con la optimización del proceso biotecnológico para obtener POU y biomasa enriquecida proveniente del bagazo de la caña de la azúcar.

Si pasamos a la rentabilidad económica, es obvio que esto representa una de las limitaciones más importantes para el desarrollo de la biotecnología agroindustrial. La mayoría de los proce-

Los procesos generados en los centros de investigación siguen siendo poco explotados debido a su baja rentabilidad o debido a que no es posible demostrar su factibilidad económica. Por ello, resulta vital para los investigadores producir estudios de factibilidad que tomen en consideración las diferentes etapas y la inversión necesaria para los procesos. También es necesario comparar los estudios de factibilidad mediante la utilización de diferentes procesos, subproductos y microorganismos para determinar cuál es más atractivo en el plano económico. Los estudios de factibilidad también podrían ayudar a establecer prioridades entre el gran número de subproductos y residuos de cultivos de que México dispone.

Algunos de los avances tecnológicos actuales de México tienen como meta la optimización de los procesos y las tecnologías que ya se utilizan en otros países. Los investigadores que participan en estos estudios han propuesto que en el trabajo de producción de POU deben analizarse los procesos con un objetivo doble o triple, es decir, la producción de POU además de otro producto con un valor agregado mayor que podría aumentar su rentabilidad. Por sí misma, la producción de POU aún no es rentable, pero su importancia podría mejorar si el proceso se diversifica, es decir, si, por ejemplo, puede también obtenerse una enzima. Esta posibilidad ya está siendo explorada por varios individuos que investigan la producción de POU y actualmente la orientación es obtener productos más rentables, no sólo por medio de la diversificación de aquellos obtenidos gracias a procesos biotecnológicos, sino incluso mediante la utilización de POU como aditivo para la industria alimentaria.

4.4 Disponibilidad de recursos en biotecnología industrial

4.4.1 Recursos humanos y materiales

En general, las unidades de investigación interesadas en los aspectos agroindustriales de la biotecnología están formadas por grupos reducidos de investigadores. La mayoría de los proyectos de investigación, como en el caso del área de biotecnología vegetal, generalmente comprenden a un investigador principal y, en algunos casos, un investigador asociado o asistente de investigación con algunos ayudantes técnicos y en algunas ocasiones, numerosos estudiantes que trabajan en sus tesis de grado, tanto de licenciatura, maestría, o incluso, en algunos casos, de doctorado. Estos

estudiantes pueden ser vitales para la investigación, pero no tienen contratos con la universidad. Este tipo de acuerdo es resultado de diversos factores, entre los que está una gran tendencia hacia el individualismo en la investigación y una gran escasez de puestos, lo cual impide la entrada de nuevo personal a las instituciones. Este fenómeno no sólo es evidente en la investigación biotecnológica, sino que se extiende a todo el sistema científico y tecnológico del país.

En el cuadro 4.9 se encuentra la información acerca de la distribución del personal en las instituciones cubiertas por este estudio. La información se organiza en términos de los números

CUADRO 4.9
BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: RECURSOS HUMANOS

Unidades de investigación	Grados de los investigadores			Ayudantes	Técnicos	Total
	Doctorado	Maestría	Licenciatura			
FQ-UNAM	3	-	-	-	-	3
IIB-UNAM	2	2	-	-	-	4
CIIGEBI-UNAM	-	4	-	-	-	4
CI-UNAM	-	-	1	-	-	1
CEFINI-UNAM	1	2	-	-	-	3
UAM-Ixtapalapa	2	5	6	8	-	21
FQ-UAEM	-	2	1	-	-	3
FCB-UANL	-	2	4	-	-	6
DIB-ENCB-IPN	-	2	-	-	1	3
DCI-ENCB-IPN	-	1	-	-	-	1
DM-ENCB-IPN	1	4	-	-	-	5
DBB-CINVESTAV	5	11	5	25	6	52
IMC y P.U. Guad.	-	1	1	1	-	3
CIEAA-U. Guan.	2	3	1	-	-	6
ITM	1	8	-	3	-	12
ITV	-	4	2	-	-	6
ITD	-	2	1	-	-	3
ITS	-	-	5	-	-	5
LANFI	1	1	4	-	-	6
IMP	-	1	5	-	-	6
INIREB	1	1	3	-	-	5
CIQA	-	-	3	2	1	6
CIATEJ	-	1	1	-	-	2
IMETA	2	-	4	-	-	6
Total	21	57	47	39	8	172

FUENTE: Datos clasificados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos de octubre de 1986 a junio de 1987.

totales de individuos que participan en cada unidad de investigación, más que en función de los números que constituyen los proyectos de investigación particulares. En la mayoría de estas unidades hay un número reducido de investigadores que trabajan en biotecnología agroindustrial. Las instituciones de investigación incluidas en este cuadro no se dedican exclusivamente a biotecnología, pero han creado una unidad o departamento en este terreno como parte de sus programas de química, microbiología, ciencias biológicas y ciencias alimentarias.

La mayoría de los investigadores poseen grado de maestría y sólo unos cuantos tienen el doctorado. En las instituciones aquí estudiadas, hay 22 doctores distribuidos en más de 24 unidades de investigación, lo cual representa el 17.6% del total; 56 con maestría en ciencias, equivalente a 44.8% de los investigadores, y 45 con licenciatura (el 36% del total). En este cuadro podemos observar que hay instituciones que aún no cuentan con un doctor que coordine la investigación, fenómeno que ocurre en 12 de 24 instituciones estudiadas: la mitad de las unidades de investigación en biotecnología agroindustrial no poseen personal calificado en el nivel de doctorado.

En 1987, muchos de los investigadores eran bastante jóvenes. Gran porcentaje del personal en este campo aún no terminaba las etapas formativas de sus estudios académicos. En la mayoría de los casos, este tipo de capacitación se desarrolla en forma paralela a sus actividades docentes y de investigación y es sólo cuando un investigador decide estudiar su doctorado en el extranjero, que puede contar con las instalaciones y los fondos necesarios para lograrlo.

Debemos subrayar que muchos grupos de investigación, principalmente aquellos que sólo cuentan con un investigador, permiten que la parte práctica de la investigación de laboratorio sea realizada por estudiantes, la mayoría de los cuales todavía no obtienen su licenciatura, aunque a veces tienen incluso una maestría. Éste ha sido el único medio disponible para que los investigadores puedan superar la falta de recursos, particularmente en técnicos y ayudantes de investigación y, por consiguiente, han recurrido al uso de mano de obra barata y sin experiencia, única opción con la que cuentan. Este fenómeno se va acentuando por la burocratización en el trabajo de investigación y por la necesidad de los investigadores responsables de obtener el financiamiento externo que les permita avanzar en su trabajo. Estas actividades a menudo absorben una gran parte del tiempo que debería dedicarse al propio trabajo de investigación (Cruz Camarillo, 1986).

Durante el lapso de este estudio, se buscó información acerca de los recursos materiales y de equipo de las unidades de investigación.³ El equipo básico en las áreas de fermentación y tecnología de enzimas está formado por fermentadores y reactores. Los recipientes varían en capacidad, la cual se mide en litros o metros cúbicos. El cuadro 4.10 muestra que la mayoría de estas unidades posee equipo que les permite sólo trabajar con procesos biotecnológicos a nivel laboratorio, donde se tiene una capacidad de fermentación de hasta 40 ó 50 litros.

Al revisar la capacidad instalada en las unidades de investigación que desarrollan procesos a nivel piloto, existe una gran heterogeneidad. Entre los investigadores mexicanos no existe un consenso acerca de la capacidad mínima para desarrollar un fermentador lo suficientemente grande como para ser considerado una planta piloto, ni sobre las diferentes etapas del proceso que definen a esta última. Se encontraron diversas propuestas de los límites que definen las características mínimas para que una instalación pueda considerarse planta piloto. Algunos autores afirman que la investigación debe realizarse en fermentadores agitados pequeños y medianos (de entre 50 litros y 5m³) y que la escala del equipo no debe ser ni demasiado reducida ni demasiado grande (Sánchez Ruiz, 1985). Otros investigadores, principalmente los especializados en bioingeniería (De la Torre, 1986), sostienen que el nivel piloto implica el escalamiento del proceso en todas las etapas necesarias del proceso de producción, incluyendo la etapa de recuperación del producto. De la Torre (1986) afirma que el criterio establecido para la definición de una planta piloto es el uso de un fermentador de al menos 100 litros con equipo de recuperación. El concepto de planta piloto es el de un proceso similar al industrial, y por consiguiente, debe incluir una línea completa de producción y no sólo un área de fermentación. Las características de una planta piloto pueden definirse como: *a*) el diseño y procesos de escala a nivel laboratorio, *b*) el escalamiento de los procesos en los que son de interés industrial, y *c*) el estudio de la pre-factibilidad técnico-económica (De la Torre, 1985).

³ Esta información sería útil para determinar si los procesos se están desarrollando a nivel laboratorio o a escala piloto, y para conocer el nivel de desarrollo de esos procesos. La información sobre material y equipo fue obtenida únicamente en las instituciones que se entrevistaron de manera personal. Sin embargo, esta información no se obtuvo en las instituciones investigadas a través del cuestionario postal. A pesar de ello, una vez analizada la información reunida, podrían describirse algunas de las características del equipo disponible en las instituciones de investigación, aunque sería difícil llegar a conclusiones o a generalizaciones.

CUADRO 4.10
BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: INFRAESTRUCTURA DE EQUIPO

Unidades de investigación	Tipo de reactor	Capacidad (litros)	Plan-ta piloto	Origen de la tecnología			Siste-ma de control	Siste-ma de recu-peración	Seca-dor
				Im-portada	Nacio-nal	Auto-dise-ñada			
FQ-UNAM	Fermen-tador	2000	-	-	X	X	-	-	-
IBB-UNAM	Fermen-tador	14 25 100 500	X	X	-	X	-	-	-
CIIGEBI-UNAM	Femen-tador	25 100 500	X	-	X	X	X	X	X
CI-UNAM	-	-	-	-	-	-	X	-	-
CEFINI-UNAM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UAM-Ixtapalapa	Fermen-tador de estado sólido	n.i.	n.i.	X	-	X	-	-	-
FQ-UAEM	Fermen-tador	10.30	-	-	-	X	-	-	X
FCB-UANL	Fermen-tador	14	-	X	X	-	-	-	-
DIB-ENCB-IPN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DGI-ENCB-IPN	Fermen-tador	n.i.	n.i.	-	-	-	-	-	-
DM-ENCB-IPN	Fermen-tador	n.i.	n.i.	-	-	-	-	-	-
DBB-CINVESTAV	Fermen-tador y fermentador de estado sólido (charolas)	20 500 1000 10 000	X	X	-	X	X	X	-
IMCP-U.Guad.	Fermen-tador	6 200	-	-	-	X	-	-	-
CIEAA-U.Guan.	Fermen-tador de estado sólido agitado	-	-	-	-	X	-	-	-
ITM	Fermen-tador	1 14 250	X	X	-	-	X	n.i.	-

CUADRO 4.10
BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: INFRAESTRUCTURA
DE EQUIPO (cont.)

Unidades de investigación	Tipo de reactor	Capacidad (litros)	Plan-ta piloto	Origen de la tecnología			Siste-ma de control	Siste-ma de recupera-ción	Seca-dor
				Im-portada	Na-cio-nal	Auto-dise-ñada			
ITV	Fermen-tador	-	X	X	X	-	X	-	-
ITD	Fermen-tador	-	X	X	-	X	-	-	-
ITS	Femen-tador	14 2000	X	X	X	X	-	-	-
LANFI	Fermen-tador	16 40 50 400	X	-	-	-	-	X	-
IMP	Fermen-tador	n.i.	n.i.	X	-	-	-	-	-
INIREB	Fermen-tador	-	X	-	-	X	-	-	-
CIQA	Fermen-tador	2.14	-	X	-	-	X	-	-
CLATEJ	Fermen-tador	-	X	-	-	X	-	-	-
IMETA	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FUENTE: Datos clasificados a partir de entrevistas y cuestionarios enviados a biotecnólogos de octubre de 1986 a junio de 1987.

Dadas estas consideraciones, el cuadro 4.10 revela que aproximadamente la mitad de las instituciones estudiadas poseen fermentadores o reactores que les permiten trabajar a nivel piloto; sin embargo, sólo seis o siete unidades tienen un sistema de control para el proceso de fermentación, únicamente dos o tres unidades poseen un sistema de recuperación y sólo tres unidades poseen la tecnología necesaria para secar los productos finales.

A pesar de que gran parte del equipo que utilizan las unidades de investigación es importado, muchas de estas instituciones mexicanas se han visto obligadas, debido a la crisis económica, a participar en el diseño de sus propios equipos, algunos de los cuales se basan en los diseños del equipo importado. Las instituciones de investigación han tenido que establecer contactos con empresas nacionales y, en muchos casos, han logrado construir su equipo

(De la Torre, 1986). Ello ha requerido en los últimos años de la capacitación de personal en bioingeniería, cuya responsabilidad ha sido construir la infraestructura física de unidades de investigación.

Este estudio reveló que existe una gran preocupación entre los biotecnólogos respecto de la necesidad de equipo y de las dificultades intrínsecas de obtener fondos adecuados, lo cual ha llevado a algunos investigadores a iniciar la construcción de equipo y a optimizar el uso de las plantas piloto existentes.

Durante el período comprendido por este estudio, la planta piloto más completa era la del DBG-CINVESTAV-DF, la cual poseía un sistema de control automatizado y un sistema de recuperación. En 1987 se instaló un reactor híbrido de 10m³, el cual, después de que el proceso haya sido probado a nivel piloto, podría utilizarse para el procesamiento industrial. Esta unidad también cuenta con dos reactores de 1 000 litros y uno de 500 litros. Otras instituciones como el ITS cuentan con equipo diseñado en México con capacidad de 2 000 litros. El DB-CHIGEBI-UNAM posee un reactor de 500 litros y una secadora directamente conectada al proceso de cultivo.

4.4.2 Fuentes de financiamiento

Las instituciones de investigación incluidas en este estudio no cuentan con presupuestos detallados que permitan separar las partes destinadas a salarios, de las destinadas a la compra de equipo y materiales u otros aspectos de la investigación. Esto significa que los investigadores en biotecnología entrevistados fueron capaces de proporcionar toda la información necesaria para este análisis.

No obstante, esta sección analiza las fuentes de financiamiento que actualmente proveen de fondos a las unidades de investigación sobre biotecnología agroindustrial. El cuadro 4.11 concentra la información acerca de las unidades de investigación según el origen de su financiamiento para la investigación. Si observamos este cuadro, resulta evidente que aproximadamente la mitad de las instituciones de este estudio reciben financiamiento de fuentes externas para complementar sus propios fondos. Las principales fuentes de financiamiento externo son el Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACYT) y el Consejo para el Sistema Nacional de Educación Tecnológica (COSNET), ambas organizaciones gubernamentales cuyo objetivo es, entre otros, financiar la investigación.

CUADRO 4.11
BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: FUENTE DE FINANCIAMIENTO

Unidades de investigación	Fondos propios	CONACYT	COSNET	Otras fuentes	
				Nacionales	Internacionales
FQ-UNAM	X	X	-	-	X
IIB-UNAM	X	-	-	-	-
CIIGEBI-UNAM	X	X	-	X	X
CI-UNAM	X	-	-	-	-
CEFINI-UNAM	X	-	-	-	-
UAM-Ixtapalapa	X	X	-	X	X
FQ-UAEM	X	-	-	-	-
FCB-UANL	X	X	-	-	X
DIB-ENCB-IPN	X	X	X	-	-
DGI-ENCB-IPN	X	-	-	-	-
DM-ENCB-IPN	X	-	-	-	-
DBB-CINVESTAV	X	X	X	X	X
IMCP-U.Guad.	X	X	-	-	-
CIEAA-U.Guan.	X	X	-	-	-
ITM	X	X	-	-	-
ITV	X	-	X	-	-
ITD	X	X	X	-	-
ITS	X	-	-	-	-
LANFI	X	-	-	X	-
IMP	X	-	-	-	-
INIREB	X	X	-	-	-
CIQA	X	-	-	-	-
GLATEJ	X	X	-	-	-
IMETA	X	X	-	-	-

FUENTE: Datos clasificados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos y de información obtenida de CONACYT y COSNET.

También es interesante señalar que de las instituciones que reciben financiamiento de CONACYT y COSNET, 50% también reciben fondos de otras instituciones nacionales y extranjeras. Un número muy limitado de instituciones ha logrado obtener financiamiento de diversas fuentes: el DA-FQ-UNAM, el DB-CIIGEBI-UNAM, el DB-UAM-I, el DBB-CINVESTAV-DF, la FCB-UANL, el ITD y el INIREB. La mayoría de las unidades de investigación aún tiene acceso limitado a fondos externos y la tendencia es que los nuevos fondos sean canalizados hacia instituciones que ya reciben financiamien-

tos de otras fuentes. Este pequeño grupo de instituciones posee un currículum más importante, así como más personal y equipo especializado para la investigación que las otras; por consiguiente, sus propuestas de investigación tienen mayor peso cuando se trata de obtener mayores fondos.

El cuadro 4.12 muestra la cantidad de ayuda que recibían de CONACYT las unidades de investigación con proyectos en biotecnología agroindustrial durante el período 1984-1987. Vale la pena señalar que 1985 fue el año en el cual se dio mayor impulso a los proyectos de investigación en biotecnología, fundamentalmente dirigido hacia aquellos desarrollados por institutos o departamentos de la UNAM, la UAM-I, del CINVESTAV-DF, así como de varias instituciones de los estados, principalmente el INIREB, el ITS, el ITD y el IMCyP-U.Guad. Para 1986, la cantidad total de financiamiento se redujo considerablemente, así como el número de instituciones que lo recibieron. Sólo en la UAM-I y en el INIREB se mantuvo un financiamiento constante en cifras absolutas. Para el resto de las instituciones, el presupuesto fue considerablemente menor, lo que se explica en parte porque en algunos casos el presupuesto se autorizó en 1985 para cubrir las actividades de dos años.

El apoyo canalizado por CONACYT llega a través de diferentes programas de esta institución, ya que ésta no tiene un solo programa general de biotecnología. Sin embargo, esta área de investigación se incluye como prioritaria en otros programas más importantes como el Programa Indicativo sobre Desarrollo Tecnológico para la Agroindustria, el Programa de Excelencia en la Investigación, el Programa de Investigación sobre Naturaleza y Sociedad, el Programa de Recursos Renovables y el Programa de Riesgo Compartido. Estos programas cambiaron en 1989. En el capítulo 6, se actualiza la información referente a los programas que apoyan el desarrollo biotecnológico en 1992.

En lo tocante a las instituciones que recibieron fondos o apoyo de otras instituciones nacionales o extranjeras, básicamente se trata de las de la UNAM, la UAM, el CINVESTAV, la UANL y el ITV. El cuadro 4.13 incluye información acerca de estas fuentes de financiamiento fundamentalmente nacionales y, en algunos casos, resultado de acuerdos con el sector industrial para el desarrollo de procesos que posteriormente podrían industrializarse.

Entre las fuentes extranjeras de financiamiento, en 1986 existían acuerdos con las siguientes organizaciones: Ministerio de Investigación y Tecnología de la República Federal Alemana, ONUDI, ORSTOM, OEA, EC, OMS y la NSF de Estados Unidos. Todas

CUADRO 4.12
 BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: APOYO FINANCIERO
 DE CONACYT 1984-1987
 (miles de pesos) (1982=100)

<i>Unidades de investigación</i>	1984	1985	1986	1987
FQ-UNAM	1 994	8 415	506	1 611
IIB-UNAM	-	-	-	-
CIIGEBI-UNAM	281	12 610	674	127
CI-UNAM	-	-	-	-
CEFINI-UNAM	-	-	-	-
UAM-Ixtapalapa	999	8 380	4 482	1 259
FQ-UAEM	-	-	-	-
FCB-UANL	-	1 078	795	1 302
DIB-ENCB-IPN	-	174	1 763	11
DGI-ENCB-IPN	-	-	-	293
DM-ENCB-IPN	-	-	-	-
DBB-CINVESTAV	6 781	8 653	1 607	874
IMCP-U.Guad.	2 257	1 889	246	-
CIEAA-U.Guan.	-	-	-	-
ITM	-	-	2 625	-
ITV	-	-	-	-
ITD	4 169	1 451	527	864
ITS	2 293	2 241	-	-
LANFI	-	-	-	-
IMP	-	890	-	-
INIREB	5 409	4 790	2 136	219
CIQA	-	-	-	-
CIATEJ	19 078	1 079	71	-
IMETA	-	611	1 626	440
TOTAL	43 261	52 261	17 058	7 000

FUENTE: Datos clasificados a partir de entrevistas personales y de *Ciencia y Desarrollo*, CONACYT, México, núms. 61, 62, 68, 69, 74, 75, 79 y 81.

estas organizaciones canalizan sus fondos hacia unidades de investigación biotecnológica localizadas en la ciudad de México, más particularmente hacia la UNAM y la UAM-I.

4.3.4 Relaciones interinstitucionales

Al igual que en el área de biotecnología vegetal, los contactos interinstitucionales en biotecnología agroindustrial son pocos. Los

CUADRO 4.13
BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: OTRAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO NACIONALES E INTERNACIONALES

<i>Unidades de investigación</i>	<i>Fuente de financiamiento</i>
FQ-UNAM	-Ministerio de Investigación y Tecnología de la República Federal Alemana -Azúcar, S.A. -CONASUPO-MICONSA
IBB-UNAM	-FARMA -Enzimas Mexicanas -Fermentaciones Mexicanas (FERMEX)
CIIGEBI-UNAM	-Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) -KEMFUDS -ONUDI
UAM-Ixtapalapa	-Oficina de Ultramar para la Investigación Ciencia y Técnica (ORSTOM) -Consejo Británico -OEA -Comunidad Europea -Comisión Mexicana de Estudios para la Industria Farmacéutica
FCB-UANL ENCB-IPN	-OMS -OEA
DBB-CINVESTAV	-Sindicato de Trabajadores de la Industria Azucarera -SARH -SEMIP -CONASUPO-LICONSA -SEDUE -Azúcar, S.A.
ITV	-National Science Foundation -Oficina de Ultramar para la Investigación Científica y Técnica (ORSTOM)
LANFI	-Comunidad Europea

FUENTE: Datos clasificados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos, de octubre de 1986 a junio de 1987.

investigadores que trabajan en este terreno cuentan con un punto de reunión, es decir, la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, la cual celebra congresos nacionales anuales sobre el tema. También organiza reuniones y simposios sobre diferentes cuestiones, los cuales dan a los investigadores la oportunidad de ponerse al día en las diferentes líneas de investigación de las diversas unidades de biotecnología en el país.

El trabajo de campo indicó que los proyectos de investigación se estructuran de manera institucional y que existe poca inclinación a unir fuerzas entre las instituciones de investigación que trabajan en torno a temas similares. Este estudio demostró que algunos investigadores no conocían los avances logrados en sus campos en otras instituciones de investigación mexicanas, y en los casos en que indicaron cierto conocimiento, no parecía interesarles un intercambio y menos aún trabajar en conjunto. Ello se explica en parte por el espíritu de competencia institucional. Sin embargo, esta situación probablemente tendrá que cambiar en el corto plazo y ya puede vislumbrarse cierto cambio que se verá aún más estimulado debido a la crisis económica. Cualquier duplicación de esfuerzos se vuelve cada vez menos rentable y difícilmente sostenible.

Algunas instituciones gubernamentales como el CONACYT están comenzando a solicitar la creación de proyectos interinstitucionales, lo que llevará a la combinación de la experiencia adquirida, aprovechando las infraestructuras físicas y humanas de investigación.

Independientemente de estas políticas, algunas unidades de investigación, conscientes de su situación, han comenzado a integrar proyectos interinstitucionales, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

1) Un proyecto sobre aguas residuales de la industria del maíz, el cual en 1986 tenía un acuerdo de colaboración entre el DA-FQ-UNAM, el DIQ-FQ-UNAM, el II-UNAM y el ENCB-IPN.

2) Un proyecto para la producción de enzimas a través de un esfuerzo conjunto del CIIGEBI-UNAM, el DA-FQ-UNAM, y el Instituto Nacional de la Nutrición (INN).

3) Un proyecto para la producción de bioinsecticidas con la participación del FCB-UANL y el CINVESTAV-Irapuato.

4) En 1986 se firmó un acuerdo de tres años entre el CINVESTAV-DF, la UAM-Ixtapalapa y el CIIGEBI-UNAM para la investigación sobre POU. Cada uno de estos institutos se responsabiliza de diferentes etapas del proceso: el CINVESTAV y la UNAM de la tecnología de fermentaciones y la UNAM de la ingeniería genética de microorganismos (Esparza, 1986).

5) Desde 1986 existe un acuerdo entre el CINVESTAV-DF y el ITD para la producción de POU a partir de metanol.

6) Existen también proyectos interinstitucionales para la utilización de desechos agrícolas (de brócoli y coliflor) entre el CIEAA-U.Guad. y el CINVESTAV-Irapuato, así como entre la UAQ y el INN.

7) Finalmente, existe un acuerdo entre el ITM y el CICY, a través del cual se está creando una maestría en biotecnología en el sureste del país. Cada una de estas instituciones es responsable de diferentes áreas del postgrado y el ITM otorga el título.

4.5 Lazos con el sector productivo

En esta área de investigación existen varios acuerdos con diversas empresas tanto estatales como privadas, los cuales no necesariamente garantizan la industrialización de los procesos. Ello se debe a ciertas limitaciones científico-técnicas que deben resolverse para optimizarlos y asegurar su rentabilidad. Una gran parte de los procesos biotecnológicos desarrollados en centros de investigación, no se transfieren a la industria debido a su baja rentabilidad o por la falta de condiciones para demostrar que son económicamente factibles. Ello requeriría estudios acerca de las etapas del proceso y los aspectos relacionados con las inversiones necesarias para operar los desarrollados en el plano industrial.

De los nueve casos de relaciones con el sector productivo incluidos en el cuadro 4.14, los objetivos finales de cinco de los acuerdos son la instalación de plantas piloto que permitan realizar estudios de factibilidad y determinar la rentabilidad de los procesos. Sólo en uno de estos casos se ha firmado un acuerdo de financiamiento para garantizar la industrialización del proceso una vez confirmada su rentabilidad. Por consiguiente, en general no existen garantías de que la tecnología se transferirá a la industria. Durante el trabajo de campo, lo anterior fue confirmado por varios investigadores, quienes informaron que habían iniciado algunos avances tecnológicos debido a que cierta compañía se había interesado en el proyecto. Sin embargo, en varias ocasiones las empresas perdieron interés durante la investigación y los proyectos tuvieron que suspenderse.

Otra situación que encontramos con frecuencia es que los investigadores desarrollan algunos procesos biotecnológicos para su interés particular y no porque respondan a las demandas del sector productivo. Sin embargo, los investigadores, como parte de sus

CUADRO 4.14
BIOTECNOLOGÍA AGROINDUSTRIAL: VINCULACIONES CON EL SECTOR PRODUCTIVO

<i>Unidades de investigación</i>	<i>Sector público</i>	<i>Sector privado</i>	<i>Procesos biotecnológicos</i>
FQ-UNAM	MICONSA		Planta piloto para el tratamiento de aguas residuales de la industria del maíz
		INTELCALF (*)	Producción de hongos empleando como sustrato bagazo de caña y aserrín
CIIGEBI-UNAM		KEMFUDS	Planta piloto para la producción de POU de suero de leche Producción de enzima B-galactosidasa
DBB-CINVESTAV	Sindicato de Trabajadores de la Industria Azucarera		Planta piloto para la producción de levadura torula de melazas de caña
	LICONSA		Producción de leche libre de lactosa por medio de un proceso continuo
	Azúcar S.A.		Fertilizantes orgánicos de bagazoz de caña, cachaza y vinaza
INIREB		Empresario de Coatepec, Ver.	Producción de <i>Pleurotus Ostreatus</i> de pulpa café (planta piloto)
ITD		HIRAMEX (*)	Producción continua de yogur
FCB-UANL		Cervecerías Cuauhtémoc	Producción de la enzima alfa-amilasa

(*) Empresas creadas por investigadores universitarios o a través del Programa de Riesgo Compartido de CONACYT.

FUENTE: Datos clasificados a partir de entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos de octubre de 1986 a junio de 1987.

actividades en las diferentes instituciones, han asumido la tarea de interesar al sector productivo y de convencer a las empresas de que otorguen apoyo económico al proceso o que proporcionen financiamiento a una planta piloto en sus instalaciones. Sin embargo, muy a menudo estas negociaciones son largas y no siempre tienen éxito.

De los nueve casos en los que existían relaciones con el sector productivo, dos se refieren a la transferencia de procesos a empresas formadas por los propios investigadores, quienes respondieron a estímulos fiscales y riesgos compartidos, logrando así desarrollar los procesos que ellos mismos iniciaron en laboratorios de sus instituciones de investigación, en el plano industrial. Entre los ejemplos de lo anterior está la producción de hongos a partir del bagazo de caña y el aserrín, y la producción continua de yogur.

Existe cierto interés, por parte de algunas empresas públicas, en utilizar las capacidades de la investigación biotecnológica desarrolladas en los diferentes centros. De los casos en los cuales ha habido alguna clase de contacto con estas empresas, la mayoría es producto de una preocupación por solucionar los problemas de contaminación producidos por desechos. Sus acciones fundamentalmente se han debido a las presiones de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) para disminuir el deterioro ecológico. Entre los ejemplos de lo anterior encontramos los proyectos financiados por MICONSA, empresa gubernamental que industrializa maíz, y AZÚCAR, S.A., la empresa estatal del azúcar, la cual se interesa en hallar nuevos usos para las aguas residuales y los subproductos agrícolas, lo que reduciría la contaminación de ríos y campos de agricultura. Otros acuerdos como el de LICONSA, la empresa estatal que produce leche con el CINESTAV-DF, intentan disminuir la importación de enzimas de B-galactosidasa utilizada para producir leches deslactosadas para la población que no la tolera. Con este propósito ya se ha creado un proyecto de riesgo compartido con CONACYT.

Otro proyecto ha recibido el financiamiento del Sindicato de Trabajadores Azucareros para generar nuevas fuentes de alimentos utilizando las melazas del azúcar. Este sindicato apoya uno de los proyectos más costosos y avanzados en el país para optimizar el proceso de producción de la levadura torula, cuya producción industrial podría volverse una realidad si pudiera demostrarse su rentabilidad.

Por lo que respecta a los lazos con el sector privado, tal vez el más prometedor de éstos es el que incluye a la empresa KEMFUDS,

la cual, según la información de 1987, decidiría acerca de la instalación de una planta para la producción de POU a partir de suero de leche. Otro de los proyectos con lazos más sólidos es el de la Cervecería Cuauhtémoc para la inmovilización de la enzima alfa-amilasa utilizada en el proceso de maceración de la cebada. Ello permitiría grandes ahorros puesto que reduciría considerablemente el volumen de importación de esta enzima.

En general, estas relaciones aún se encuentran en sus etapas iniciales y, excepto en el caso de BIOFERMEL, en 1987 no se contaba con ningún otro proceso biotecnológico en el área agroindustrial que haya sido transferido y explotado comercialmente. BIOFERMEL es un complemento alimentario para ganado, industrializado en el país durante varios años por dos compañías integradas principalmente por personal vinculado con la UNAM.

Es importante mencionar que Fermentaciones Mexicanas (FERMEX) es una de las pocas (si no es que la única) empresa mexicana de fermentaciones que no se interesan en el uso de tecnología generada en este país (López Mota, 1987). Esta empresa produce aminoácidos con tecnología japonesa y, en el caso de la lisina, trabaja con un proceso semicontinuo. Este aminoácido se utiliza para fabricar alimentos para cerdos y pollos. Esta empresa ha logrado establecerse como uno de los productores de lisina al más bajo costo en el mundo y ocupa una posición altamente competitiva en el mercado internacional. Sus administradores no han mostrado interés en obtener la ayuda de bioingenieros mexicanos, ni en adaptar o modificar su proceso. Cuando se les pidió su opinión acerca de la producción de POU, se mostraron poco interesados debido a los altos costos que implicaba, por lo que prefieren continuar trabajando con tecnología japonesa (López Mota, 1987; Carvallo, 1987).

En este terreno, se encontró que la orientación del trabajo de investigación se determina por objetivos más bien científicos que económicos. Las cuestiones relacionadas con las características de los mercados internos e internacionales y la competitividad de los productos finales, son temas que no constituyen una preocupación básica para los investigadores, aunque con el tiempo influyen en la relación mínima entre el sistema científico-tecnológico y el aparato productivo de México. No obstante, el tema de la competitividad internacional y de la factibilidad o rentabilidad de los procesos biotecnológicos comienza ya a influir en la dirección que seguirá la biotecnología agroindustrial. Durante el trabajo de campo se percibió que ciertos objetivos, como una mejor alimen-

tación o la disminución de la importancia que actualmente tienen las importaciones mediante el uso de recursos naturales, están siendo desplazados por la elección de productos finales con un mayor valor agregado y una mayor rentabilidad. Tales productos, aun si resultaran económicamente rentables, no serían relevantes en términos de nutrición y modificarían los patrones tradicionales de consumo de la población.

Otro aspecto importante en el análisis de las relaciones existentes entre la investigación académica y el sector productivo es el hecho de que, en gran medida, las relaciones con este sector se establecen una vez que el proceso ya ha sido desarrollado en los centros de investigación. Esto supone que el producto no se creó en respuesta a una demanda del sector productivo, sino que se originó a partir de una preocupación de tipo científico o socioeconómico y que los costos de la investigación inicialmente recayeron en los laboratorios y centros de educación superior más que en las industrias. Este factor constituye uno de los obstáculos más importantes para las relaciones con el sector productivo. Podría plantearse que una estrategia dirigida a garantizar estas relaciones tendría que subrayar el desarrollo de las capacidades científicas y tecnológicas que respondan a las demandas específicas generadas en el sector productivo.

La manera en que se originan las demandas de tecnología constituye un factor determinante para establecer las relaciones entre universidad e industria. Este enfoque ya se ha asimilado en varias instituciones educativas que han logrado establecer mecanismos para identificar demandas industriales de investigación. Actualmente ya se aplican varios mecanismos y podrían aplicarse otros para vincular la investigación universitaria con el sector productivo. Sin embargo, si existe la voluntad política para orientar el desarrollo tecnológico hacia objetivos sociales, así como para conducirlo en respuesta a las demandas del mercado, las relaciones con el sector productivo deben crearse en el marco de las prioridades socioeconómicas imperantes. En los capítulos 5 y 6 profundizaremos sobre este aspecto al referirnos a las actuales políticas aplicadas para garantizar la vinculación entre universidad e industria.

CAPÍTULO 5

MARCO INSTITUCIONAL PARA EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA

La biotecnología se institucionaliza en México a fines de la década de los sesenta, cuando se constituyen formalmente los centros o las unidades específicamente dedicadas a la investigación en dicha área. Tal como se ha mencionado en capítulos anteriores, los antecedentes de la investigación biotecnológica en el país se remontan a los años cuarenta y cincuenta, ya que la biotecnología se sustenta en diversas disciplinas, entre otras la microbiología, la ingeniería bioquímica, la genética, la ingeniería química y la enzimología, cuyo desarrollo en el país se da en esos años, por lo que cuentan ya con una tradición importante. Los recursos humanos que se formaron en estas disciplinas constituyeron la base de ese campo de investigación interdisciplinario.

En este capítulo se presenta el análisis de los factores de orden institucional que hacia 1988 intervenían en el desarrollo de la biotecnología en las áreas agrícola y agroindustrial. Así, se hará referencia específica a las orientaciones y trayectoria de las grandes instituciones de investigación en esas áreas, a los aspectos relacionados con la formación de recursos humanos, los mecanismos de vinculación que han sido introducidos en los centros de investigación, tanto para lograr un mayor acercamiento entre éstos como para relacionarse con el sector industrial, y a las formas de organización que prevalecían entre los biotecnólogos. De estos elementos se deducirán las condiciones y limitaciones institucionales que existían para el desarrollo y aplicación de la biotecnología en las áreas agrícola y agroindustrial y, se destacarán los factores que deberían ser modificados para lograr esos propósitos.

5.1 Organización interna de las instituciones de investigación biotecnológica

5.1.1 Institucionalización

Una de las características generales del desarrollo científico y tecnológico en el mundo subdesarrollado, que se aplica casi sin excepción a México, es que la creación de centros de investigación no se sustenta en una política explícita de los centros de educación superior por fortalecer áreas del conocimiento que son necesarias para el desarrollo económico y social. Así, la aparición de instituciones de investigación es un hecho azaroso que la mayor parte de las veces obedece al deseo de un investigador o de un grupo de ellos por institucionalizar su disciplina y darle oportunidad de crecer y desarrollarse mediante la captación de recursos financieros y la formación de recursos humanos. En otras ocasiones, la fundación de nuevas instituciones surge por la fuerza política que han logrado adquirir los mismos investigadores en el aparato de toma de decisiones del Estado. Esta situación se debe a la carencia de planes de ciencia y tecnología capaces de racionalizar la creación de nuevas instituciones.

En el caso de la biotecnología, los primeros esfuerzos de creación de unidades o centros de investigación se originaron en iniciativas provenientes de investigadores, la cuales lograron el apoyo necesario que hizo posible la institucionalización de este campo de investigación. Así surgen las primeras instituciones de investigación biotecnológica, entre las que se encuentra el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (DBB) del CINVESTAV-IPN creado en 1972; el Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIB); el Centro de Investigaciones sobre la Fijación del Nitrógeno (GEFINI) y el Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología (CHIGEBI), actualmente Instituto de Biotecnología (IB), todos ellos de la UNAM; el Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Ixtapalapa, y otras que ya han sido mencionadas en los capítulos anteriores. A continuación se hará referencia a los factores que han dado origen a estas instituciones, destacándose los elementos de orden sociopolítico vinculados a su creación.

El Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV, constituido a principios de los años setenta, vino a cambiar la orientación que se dio al CINVESTAV con su creación en 1961.

Hasta 1970 se dio énfasis a la constitución de un centro de investigación básica de excelencia. Sin embargo, los objetivos iniciales de la creación del CINVESTAV planteaban su orientación a la investigación tecnológica que permitiera elevar los niveles de vida e impulsar el desarrollo del país (CINVESTAV, 1983), fundamentos en los que se apoyó la creación del DBB. La formación de departamentos como el DBB orientados al desarrollo tecnológico, provocó fuertes conflictos internos entre los investigadores del CINVESTAV, sobre todo entre aquellos que se incorporaron cuando la principal orientación era la investigación básica. Esto causó temor de que el centro se convirtiera en una "fábrica", según lo expresan algunos de sus ex investigadores (Bastarrachea, 1986).

La adopción de líneas de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico provocó la salida de varios investigadores del CINVESTAV, muchos de los cuales prefirieron incorporarse a otras instituciones, como la UNAM, o a instituciones extranjeras, antes que ver amenazada su libertad de investigación por objetivos pragmáticos. Este fenómeno coincide con la creación del CONACYT en 1970 y con la elaboración de los primeros planteamientos explícitos de política gubernamental de ciencia y tecnología, acciones que aterrorizaron a algunos científicos que reclamaban para sí la elección de sus campos de investigación y la no injerencia del Estado en la determinación y selección de los mismos, lo que fue visto como una amenaza para el avance de la ciencia (Casas, 1985).

Desde su inicio, el DBB del CINVESTAV señaló la importancia de orientar tanto la investigación como la formación de recursos a dos campos fundamentales e inseparables: la biotecnología y la bioingeniería. Se adoptó un enfoque orientado específicamente a problemas alimentarios y ambientales, lo que se sigue reflejando actualmente en su estructura interna, que se divide en las áreas de fermentaciones, enzimas, ecología y alimentos. Este departamento se conformó en su inicio con profesores de la ENCB del IPN, cuya formación de postgrado se había realizado fundamentalmente en el país.

El otro centro universitario en el cual se institucionaliza la investigación biotecnológica es la UNAM, donde ésta surge también a principios de la década de los setenta en el ámbito del Instituto de Investigaciones Biomédicas y, por ende, su orientación inicial fue hacia los problemas de salud. No obstante, conforme se desarrollaba el Departamento de Biotecnología de ese Instituto, se fueron diversificando sus orientaciones hacia otras áreas de aplicación tales como la de alimentos.

La historia posterior del desarrollo de la biotecnología en la UNAM estuvo fuertemente influida por diversos factores coyunturales de orden político que provocaron la creación de grandes instituciones de investigación a las que se destinaron cuantiosos recursos económicos y que se conformaron, en un principio, con los recursos humanos que laboraban en otras dependencias universitarias. Así, en 1980 se crea el Centro para la Fijación del Nitrógeno, que es inaugurado en 1981, y en 1982 el Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología, actualmente Instituto de Biotecnología, inaugurado en 1985. Ambos centros quedaron instalados en la Ciudad de la Investigación Científica de la UNAM, en Cuernavaca, en terrenos que la Universidad Autónoma del Estado de Morelos cedió en comodato a la UNAM.

Respecto al Instituto de Biotecnología, el interés de la UNAM por su creación se conjugó con algunos factores de orden internacional. Hacia principios de la actual década, se discutía en la ONUDI la conveniencia de crear un centro internacional de ingeniería genética y biotecnología en el Tercer Mundo, que permitiese a los países en desarrollo estar vinculados con los adelantos que se daban en estas áreas de investigación en el mundo desarrollado. A principios de 1982, el IB era visto por sus formadores como una de las posibles sedes de ese centro internacional y, de hecho, según sus directivos, se constituyó en un candidato serio para dicho centro (Soberón, 1986). Sin embargo, a fines de 1982, y en plena crisis económica, el gobierno mexicano retiró la candidatura para la sede de ese centro.

El IB surge con el propósito de garantizar el desarrollo y la continuidad de los grupos de investigadores que desarrollaban en la UNAM proyectos en las áreas de ingeniería genética y biotecnología; de contribuir a la solución de problemas específicos de trascendencia social, así como promover la descentralización de las actividades de docencia e investigación de la UNAM. Por decreto universitario, el IB realiza investigación básica en: *a*) biología molecular, enzimología, bioquímica y síntesis química de ácidos nucleicos; *b*) bioquímica de proteínas y péptidos; *c*) microbiología y mejoramiento genético de microorganismos de interés básico e industrial; *d*) fermentaciones, escalamiento y bioingeniería de procesos, y *e*) investigación aplicada para el desarrollo de tecnologías con objeto de resolver problemas o plantear alternativas en las áreas de alimentos, salud, contaminación ambiental y energéticos (CIIGEBI, 1985).

Este centro se integró con personal que trabajaba en los departamentos de Biología Molecular, de Biología del Desarrollo y de Biotecnología del Instituto de Investigaciones Biomédicas. Cabe destacar que este último centro tiene una fuerte orientación hacia la ingeniería genética, bioquímica y la biología molecular en el área de salud, predominando la investigación básica. Hacia 1987, el área de biotecnología era relativamente pequeña y contaba solamente con tres investigadores con nivel de maestría que trabajaban en tecnología de fermentaciones, tecnología enzimática y tecnología de recuperación. La investigación aplicada era relativamente menor si se le compara con el conjunto de los proyectos de investigación básica en ese año. Actualmente este Instituto cuenta con cuatro departamentos: Biología Molecular, Bioquímica, Bioingeniería y Biología Molecular de Plantas y 15 líneas de investigación. Es decir, sus áreas de trabajo se han extendido también al sector agrícola, equilibrándose el peso entre ésta y las investigaciones realizadas en torno al área de salud.

Por su parte, el CEFINI se conformó también con investigadores provenientes del IIB y con investigadores que han sido contratados desde 1981. La creación del centro fue posible con donativos de diversas instituciones: la Universidad Autónoma de Morelos, el Gobierno del Estado de Morelos, el CONACYT, el Fondo Ricardo J. Zevada y la empresa paraestatal Fertilizantes Mexicanos (FERTIMEX). Cabe destacar que esta última empresa estuvo muy interesada en la creación del CEFINI, debido a la relación entre su temática de investigación y la necesidad de producir fertilizantes basados en tecnología nacional y de ofrecer alternativas para sustituir los fertilizantes químicos por fertilizantes de origen biológico. Esta colaboración con FERTIMEX se manifestó al inicio de las gestiones del CEFINI, mediante la organización de seminarios conjuntos sobre la fijación simbiótica del nitrógeno. Sin embargo, al realizar el análisis de los informes de actividades hasta 1987, no se encontró ningún contacto con esa empresa, aunque sí se desarrollaban proyectos de investigación sobre la asociación simbiótica entre *Rhizobium* y plantas leguminosas, y FERTIMEX seguía formando parte del Comité Coordinador de las Acciones de Apoyo del CEFINI.

Durante la realización del trabajo de campo, que como se ha mencionado se efectuó entre 1986 y 1987, se registraron críticas severas, provenientes de investigadores de otras instituciones, a las orientaciones del CEFINI. Dichas críticas se refieren al predominio de la investigación básica en ese centro y a que no considera los espec-

tos relacionados con la aplicación de la investigación en la fijación del nitrógeno. Dado que en su ley de creación se establece que el centro debe efectuar tanto investigación básica como aplicada y desarrollo tecnológico, se han introducido algunas modificaciones en su estructura organizativa, que permitan cumplir con el objetivo del desarrollo tecnológico. Así, en 1986 se dio cabida dentro de este centro a una Unidad de Biotecnología que trabajaría en el desarrollo de procesos biotecnológicos para la bioconversión de subproductos agrícolas en biomasa, enzimas y otros compuestos químicos de importancia agrícola e industrial, así como en la aplicación de técnicas biotecnológicas para el estudio y la utilización práctica de la fijación biológica del nitrógeno (CEFINI, 1986).

Esta medida, en su momento, fue un tanto inexplicable, ya que si bien el CEFINI reconoce la importancia de orientarse también hacia la investigación aplicada, la incorporación de líneas de investigación biotecnológica que no guardan ninguna relación con la fijación del nitrógeno, es un reflejo de la falta de una política de investigación para ese centro. Con esta acción se acentúa la duplicidad y dispersión de los esfuerzos en el área de fermentaciones y enzimática, ya que dentro de la misma UNAM, en 1987 existían tres instituciones que trabajaban en esta área: el Instituto de Investigaciones Biomédicas, con muy escasos y cada vez menores recursos humanos; el Instituto de Biotecnología, con un pequeño grupo de investigación, en su mayoría constituido por investigadores jóvenes, y también el CEFINI, con una unidad de biotecnología que debería haber sido ubicada en todo caso en el IB. Esta dispersión de recursos y la competencia inherente entre las instituciones que, al menos por lo que se refiere a la investigación en fermentaciones y tecnología enzimática, no mantienen relaciones entre sí, debilita la fuerza y el avance de la investigación en esta área en la UNAM.

El CEFINI y el IB fueron creados por iniciativas del doctor Guillermo Soberón, quien habiendo sido investigador en el área biomédica, durante su rectorado dio un gran apoyo a esta área de investigación. Según los datos recabados, el doctor Soberón pensaba incorporarse al CEFINI al terminar su rectorado, institución en la que cuenta con instalaciones destinadas a sus actividades. Sin embargo, la carrera política de este investigador fue muy exitosa, lo que ha repercutido en los apoyos económicos y políticos que han recibido tanto el CEFINI como el IB y que en su mayoría provienen de organizaciones internacionales, y en cierta forma han determinado la orientación del Instituto de Biotecnología hacia problemas de salud.

Con la formación de la Universidad Autónoma Metropolitana, se constituye también en la década de los setenta un Departamento de Biotecnología en la UAM-Iztapalapa, que se integró también con investigadores provenientes de varias instituciones, entre otras del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM. La investigación en este departamento está orientada hacia problemas alimentarios y del medio ambiente. En estas líneas de investigación ha influido un grupo de investigadores franceses provenientes de la Oficina de Investigación Científica y Tecnológica para Ultramar (ORSTOM), institución con quien la UAM tiene un convenio. Hacia fines de los años ochenta, los investigadores franceses dirigían la línea de investigación sobre fermentación sólida, y mantenían una fuerte influencia hacia el equipo mexicano.

5.1.2 Selección de las líneas de investigación: prioridades y dispersión

Si se observa el conjunto de instituciones dedicadas a la investigación incluidas en este estudio, se percibe que solamente un grupo pequeño de ellas tienen como orientación fundamental la investigación biotecnológica. La gran mayoría de las instituciones realizan trabajos de investigación en diferentes disciplinas y han incorporado la investigación biotecnológica en forma complementaria.

En el área de la biotecnología vegetal, el centro mejor organizado y con mayores recursos es sin duda alguna el CINVESTAV-Irapuato y en el área de la biotecnología agroindustrial el CINVESTAV-DF. Cabe aclarar que este estudio considera exclusivamente el análisis de la biotecnología orientada a la agricultura y la agroindustria y no las instituciones orientadas fundamentalmente hacia otros sectores económicos, tales como la salud, la energía o el medio ambiente.

Del análisis elaborado en los dos capítulos anteriores resulta evidente que cada vez se acentúa más la tendencia hacia la dispersión de esfuerzos en estas áreas de investigación, lo que se origina en la creación de nuevas instituciones, departamentos o laboratorios, que en su mayoría no cuentan con los recursos humanos, financieros y materiales necesarios. Esta situación de dispersión ya había sido percibida en trabajos previos. Como resultado de una encuesta realizada en 1984 por el COSNET-SEP, Esparza (1986) reporta la gran dispersión de los escasos recursos de la biotecnología.

logía. Esta imagen de dispersión también se había reflejado en los resultados de la encuesta realizada por la Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos Vegetales, efectuada también en 1984, y en la cual resalta la gran cantidad de especies estudiadas por la biotecnología vegetal (Robert & Loyola 1985).

Es importante elaborar algunos planteamientos que expliquen este fenómeno de la dispersión. La política de descentralización de las instituciones de educación superior, que se empezó a aplicar hace algunos años, ha sido uno de los factores que ha motivado esta dispersión, en vez de producir la integración de esfuerzos regionales y el fortalecimiento de instituciones ya existentes. En el caso de la biotecnología vegetal, esa situación es más grave, lo que ha originado que un gran número de instituciones trabajen con las mismas especies sin mantener contacto entre sí. En el área de la biotecnología agroindustrial también se observa esta tendencia. Sin embargo, si comparamos la información recopilada en este estudio, con aquella otra contenida en los inventarios del COSNET (1984), se puede apreciar que un número importante de instituciones han abandonado sus líneas de investigación, lo que se explica en gran parte por las dificultades crecientes, a inicios de los años ochenta, para obtener recursos financieros para la investigación. Esto también se ha motivado por la migración de los investigadores, en general dentro del país, hacia otras instituciones y en búsqueda de trabajos mejor remunerados.

Otro de los elementos que ha contribuido a la dispersión de los esfuerzos en la biotecnología vegetal y agroindustrial tiene que ver con las formas organizativas de los proyectos, que acentúan el individualismo en vez de fomentar el trabajo en equipo. A este elemento se hará referencia en el próximo inciso. Asimismo, la falta de definición de políticas de investigación en las instituciones objeto de este estudio, es un elemento que contribuye permanentemente a la dispersión y duplicidad en los esfuerzos. Hasta principios de la década de los ochenta, los centros de investigación ubicados en las instituciones de educación superior no se preocupaban por delinear políticas de investigación y menos aún por definir prioridades. Recientemente, este aspecto se ha tomado en consideración por los directores de centros y unidades de investigación. Sin embargo, no existen criterios homogéneos para definir las políticas de investigación, por lo que la mayoría de las veces éstas se definen simplemente por la suma de los proyectos que se desarrollan en la institución.

La selección de las líneas de investigación y el establecimiento de prioridades, obedecen más al interés particular del investigador que a políticas institucionales. Los centros de investigación seleccionan grandes áreas de interés en las que deben quedar inscritos los proyectos que se realizan en la institución, y que están relacionadas con problemas tales como salud, alimentación, medio ambiente, energía. En estas áreas se agrupa a los proyectos individuales elegidos por los investigadores.

El surgimiento de las instituciones de investigación en biotecnología vegetal y agroindustrial, y la determinación de las prioridades no se han debido a una política deliberada del Estado mexicano de apoyar estas áreas específicas de investigación e introducirse así en el avance y aplicación de las nuevas tecnologías en el país. El apoyo a los centros que han logrado consolidarse se explica, en algunos casos, por la existencia de "padrinos políticos" que, conociendo los problemas inherentes al desarrollo de la investigación científica, y aprovechando su ubicación en la esfera política, han podido fortalecer a estas instituciones. Esta situación, que genera resultados positivos en el corto plazo, resulta también en una gran incertidumbre para las instituciones de investigación, ya que solamente tienen asegurados sus recursos y apoyo político por períodos relativamente cortos y los cambios que se producen en la administración pública cada seis años, ponen en peligro los avances logrados durante la administración anterior. Tal podría ser el caso del CINVESTAV-Irapuato, del CEFINI o del Instituto de Biotecnología.

5.1.3 Individualismo académico

En la mayoría de las unidades de investigación el núcleo básico está constituido por un investigador, con grado de maestro o doctor, y un conjunto de estudiantes que apoyan sus tareas. Existe muy poca comunicación entre los diferentes núcleos de una misma unidad de investigación, ya que generalmente trabajan en proyectos distintos. Esa actitud individualista en el trabajo lleva a una división física de las unidades de investigación en laboratorios, que se constituyen así en terrenos muy bien diferenciados para cada investigador, y que incluso en algunos casos llevan su nombre. No existe una actitud de colaboración entre investigadores con alto nivel de formación y experiencia, a pesar de que en términos cuantitativos son aún muy pocos, sino más bien una actitud de competencia entre ellos.

El individualismo académico se origina en la muy extendida práctica de los centros de educación superior del respeto a la libertad académica, lo que se ha entendido como la libertad para decidir lo que se va a investigar, así como para adoptar las formas de trabajo que más convengan al investigador. Cualquier pretensión por modificar esas formas organizativas es vista por los investigadores como un atentado contra la libertad académica y, por ende, como una violación a los reglamentos internos de los centros de educación superior. No obstante, algunos biotecnólogos comparten la idea de modificar esa libertad académica y de adoptar nuevas formas organizativas, que pongan el desarrollo de la ciencia y la tecnología al servicio de la sociedad.

Esa actitud individualista es uno de los obstáculos más importantes para el avance de la investigación en el país, situación que caracteriza no solamente a la biotecnología sino a la investigación científica en general.¹ La meta de un desarrollo tecnológico autónomo únicamente será factible si se coordinan e integran los recursos y capacidades existentes en el país, en programas de investigación que involucren no solamente a varios departamentos sino a varias instituciones de investigación.

La actitud individualista está presente en la mayoría de las unidades que desarrollan proyectos biotecnológicos y ha producido la descoordinación y la desintegración de estas unidades e inclusive la competencia entre ellas. Los investigadores no están dispuestos a aceptar el liderazgo de otro investigador de su misma categoría, lo que limita la constitución de equipos fuertes de investigación. Esta situación se agudiza por la permanente movilidad de los investigadores hacia otras instituciones, hacia el extranjero o hacia la empresa privada.

Existen algunos intentos por transformar este patrón organizativo basado en el individualismo y un ejemplo de ello es el modelo que se estaba pensando aplicar en el CINVESTAV-Irapuato a mediados de los años ochenta, cuyos objetivos eran tanto la investigación aplicada para producir plantas genéticamente mejoradas, así como la investigación básica. En este centro se planteaba que para alcanzar esos objetivos era necesaria la organización interdisciplinaria, para lo que se había adoptado el

¹ Esta situación es ya reconocida entre los mismos investigadores. Galindo, investigador del Instituto de Biotecnología, en un estudio publicado con posterioridad a la elaboración de este análisis afirma que, entre los frenos principales al desarrollo armónico de la biotecnología se encuentran la dispersión, el individualismo y la falta de acciones grupales coordinadas. Véase Galindo, E. (1988), "Biotecnología, alcances y perspectivas", *Ciencia y Desarrollo*, mayo-junio, pp. 21-40.

modelo matriz que era la base de la constitución de las *biotechnology start-ups* en Estados Unidos, que son empresas pequeñas que se interesan en comercializar las aplicaciones de la biotecnología y en particular de la ingeniería genética.

Este modelo basado en el trabajo interdisciplinario había sido adoptado por el CINVESTAV-Irapuato y uno de los requisitos para la contratación de nuevos investigadores hacia 1987, era que hubiesen demostrado capacidad para trabajar en equipo, actitud que se evaluaba a partir de la experiencia del desempeño de los candidatos a investigador durante sus entrenamientos doctorales o postdoctorales. Los contratos de trabajo se hacían por períodos cortos y el modelo aludido presentaba perspectivas interesantes de éxito, ya que los equipos de investigación se conformaban con investigadores jóvenes que eran moldeables y quienes aún respetaban los criterios de otros (Herrera, 1986).

5.2 La formación de recursos humanos en biotecnología

La formación de recursos humanos para la ciencia y la tecnología es uno de los objetivos para el desarrollo del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y constituyó uno de los apartados principales del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico 1984-1988 (PRONDETYC), vigente hasta 1988 y que representa una de las orientaciones centrales del actual Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994.

Con base en un diagnóstico de la situación que existía hacia 1983, el PRONDETYC planteaba lo siguiente: *a)* fortalecimiento al postgrado nacional, mediante el apoyo a las políticas de la Secretaría de Educación Pública para contribuir a un sistema de postgrado nacional de mayor calidad, vinculado con los requerimientos prioritarios para el desarrollo del país; *b)* otorgamiento y administración de becas mediante una política que asignara la mayor prioridad a las ciencias relacionadas con la tecnología y aprovechara al máximo la capacidad de las instituciones nacionales; *c)* participación del sector productivo en la formación de recursos humanos, tanto en el financiamiento de la capacitación de recursos como en la definición de programas de postgrado de interés para la planta productiva nacional, y *d)* promover la incorporación de los postgraduados al mercado de trabajo, tratando de reubicar a aquellos que realizaran actividades que no correspondieran a su formación (PRONDETYC, 1984).

El Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica vigente para 1990-1994, reafirma los elementos anteriores y destaca la necesidad de contar con una base sólida de recursos humanos en las actividades científicas y tecnológicas, como una condición indispensable para garantizar que los objetivos establecidos en materia de modernización nacional sean alcanzados (SPP-CONACYT, 1990). Asimismo, se acentúa la participación del sector productivo en la formación de recursos humanos mediante la aportación de las empresas a programas de becas y al desarrollo de las licenciaturas y los postgrados dentro del más absoluto respeto a la libertad académica de cada institución (SPP-CONACYT, 1990).

El análisis que se presenta en este inciso sobre las oportunidades para la formación de recursos humanos en biotecnología, considera los mecanismos vigentes de política explícita para la formación de recursos entre 1983-1988, en los que se inscriben las diferentes acciones a las que se hará referencia. Cabe destacar que los mecanismos de política explícita que formula el Estado mexicano no son los que necesariamente guían el desarrollo del sistema científico y tecnológico nacional. Además, para el caso de la biotecnología, algunas de las acciones orientadas a la formación de recursos en esta área se han impulsado con anterioridad al PRON-DETYC, por lo que aunque coinciden con algunos de sus objetivos, no son producto de los lineamientos contenidos en ese documento.

En México, hasta 1987, la capacitación en biotecnología se impartía a nivel de postgrado y contaba con varias instituciones educativas que ofrecían estudios de maestría y doctorado. En el nivel de licenciatura, la formación se impartía en las diferentes disciplinas que constituían el campo de la biotecnología. Así, las bases para la formación de biotecnólogos se daban en las carreras que se impartían en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, en la Facultad de Química y de Ciencias de la UNAM, en la Universidad Autónoma Metropolitana, en las universidades de los estados, en los institutos tecnológicos regionales de la SEP, así como en algunas universidades privadas como la Universidad Iberoamericana, la Universidad de las Américas y el Instituto Tecnológico de Monterrey (Casas-Campillo 1983).

Por lo que se refiere a los postgrados que otorgan un grado en biotecnología, hacia 1987 se encontraban vigentes los que se mencionan a continuación. En el área de biotecnología vegetal existían cinco postgrados de relevancia para esa área de investigación, aunque solamente uno otorgaba el grado en esta especialidad:

1) Maestría y doctorado en bioquímica de la Facultad de Química de la UNAM.

2) Maestría en genética del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados de Chapingo.

3) Maestría en fruticultura del Centro de Fruticultura del Colegio de Postgraduados de Chapingo.

4) Maestría y doctorado en biología vegetal del CINVESTAV-Irapuato

5) Maestría en biotecnología vegetal del CICY en Yucatán.

Se han incluido otros postgrados además de los que específicamente otorgan grado en biotecnología vegetal, ya que su importancia radica en que todos ellos constituyen opciones de formación en el campo del cultivo de tejidos vegetales. Estas opciones existen todavía a nivel de maestría, con excepción del doctorado en bioquímica. Los doctorados se realizan por lo general en el extranjero, fundamentalmente en los Estados Unidos, Canadá y Japón. Este campo ha sido considerado como uno de los prioritarios a nivel gubernamental, por lo que el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), había participado hacia 1987 en el financiamiento de un grupo de 12 becarios que realizaban postgrados en biotecnología vegetal en la Universidad de California en Davis.

En cuanto a la formación de maestría y doctorado, el postgrado en bioquímica que ofrece la UNAM ha tenido gran relevancia para la biotecnología vegetal, ya que esta área considera los aspectos básicos del cultivo de tejidos vegetales, además de que dicho postgrado está íntimamente vinculado a la investigación que se desarrolla en el Departamento de Bioquímica de esa institución. En ese postgrado han sido formados los investigadores que dirigen el CINVESTAV-Irapuato y el CICY de Yucatán. Además, otros de los investigadores destacados del IB y del CEFINI también realizaron sus doctorados en ese departamento. Este postgrado, hacia fines de los años ochenta, era el más importante del país en biotecnología vegetal.

El CEFINI, así como el Instituto de Biología, ambos de la UNAM, también contribuyen a la formación de recursos en esta área. El primero en el campo de la biología molecular de plantas a nivel doctorado, y el segundo en el nivel de maestría en esa misma área.

El Centro de Genética del CPCH también contribuye a la formación de recursos en biotecnología vegetal. Este centro, como

ya se explicó en el capítulo 3, fue la cuna del cultivo de tejidos vegetales en México, en él se han formado aproximadamente 100 personas en las técnicas de CTV, aunque no todos con nivel de maestría, y también ha ofrecido cursos apoyados por la FAO para la región latinoamericana.

La maestría que ofrece el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán (CICY) se organizó más recientemente (1987). Esta especialización forma parte de una maestría en biotecnología que se programó conjuntamente entre el CICY y el Instituto Tecnológico de Mérida, siendo este último organismo educativo el que otorga el grado y el CICY el centro que se responsabiliza de la opción en biotecnología vegetal. Finalmente, el Centro de Fruticultura del CPCH ofrece la formación en CTV como parte de su maestría en fruticultura.

En el campo de la ingeniería genética de plantas, hacia 1987 no existían posibilidades de formación en el país. El grupo de investigación en este campo era aún muy joven y se había formado en el extranjero. Sin embargo, puesto que aún se siguen incorporando al CINVESTAV-I personas que se han doctorado recientemente, no se descarta la posibilidad de que una vez consolidado este grupo de investigación, pueda crearse un postgrado en este campo en el país. El Instituto de Biotecnología cuenta con un departamento de investigación en biología molecular de plantas, de reciente creación, que se ha convertido también en una opción para estudios de especialización en esta área.

Hacia 1988, para el área de la biotecnología agroindustrial, México contaba con los programas de postgrado que se enlistan a continuación:

1) Maestría y doctorado en biotecnología y bioingeniería del CINVESTAV-DF.

2) Maestría en biotecnología y bioingeniería del Instituto Tecnológico de Veracruz.

3) Maestría en biotecnología del Instituto Tecnológico de Mérida.

4) Especialización, maestría y doctorado en biotecnología de la unidad académica de los ciclos profesional y de postgrado del CCH de la UNAM, con sede en el IIB y en el IB de la misma institución.

Además de estos programas, existen en el país otros postgrados que forman recursos capacitados para la biotecnología agroindustrial, y que en su mayoría abarcan el área de alimentos (Quintero, 1987b). Estos postgrados son los siguientes:

1) Maestría en tecnología de alimentos del Instituto Tecnológico de Durango.

2) Maestría en ciencias de la nutrición y alimentos del Centro de Investigación sobre Alimentación y Desarrollo (CIAD), en Sonora.

3) Maestría en ciencias de la alimentación de la ENCB-IPN.

4) Maestría en ciencias alimentarias del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en Guaymas.

5) Maestría en ciencias de los alimentos del Instituto Tecnológico de Veracruz.

6) Maestría en ciencia y tecnología de alimentos de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

7) Maestría y doctorado en ciencias (opción alimentos) de la UAM-Iztapalapa.

8) Especialización y maestría en alimentos de la Universidad Iberoamericana.

9) Especialización y maestría en alimentos de la Universidad de Sonora.

10) Especialización, maestría y doctorado en ingeniería de alimentos de la Facultad de Química de la UNAM.

Los postgrados más antiguos en biotecnología agroindustrial son los del CINVESTAV-DF y los del Instituto Tecnológico de Veracruz, ambos enfocados a la formación de recursos con dos opciones: biotecnología y bioingeniería. El postgrado del CINVESTAV se creó en 1973, al mismo tiempo que se conformó el departamento de investigación en esta área. Desde su inicio hasta 1986, el CINVESTAV había formado alrededor de 40 maestros y actualmente cuenta además con un programa de doctorado. Cabe mencionar que un porcentaje importante de los recursos formados por esta institución ha regresado a sus lugares de origen en el interior del país, en donde a su vez han constituido equipos de investigación o han participado en la creación de nuevos programas (Casas-Campillo, 1986; Esparza, 1986). Es decir, que el CINVESTAV ha generado un proceso multiplicador y descentralizador de los recursos en biotecnología.

El postgrado en biotecnología de la UNAM nació formalmente en 1984 y tuvo su origen en la necesidad de cubrir la demanda de biotecnólogos en el país, que era cada vez más dinámica, por lo que no podía ser cubierta por los postgrados que existían entonces (Sánchez, 1986). Además, se consideró que el postgrado de investigación biomédica básica que había en esa época en la UNAM, con mayor orientación hacia la biotecnología, resultaba demasiado

elemental y se orientaba más bien a la formación de recursos en el campo de la biología molecular.

Así, mediante un convenio interinstitucional en el que participaron diversas dependencias de la UNAM —tales como el IIB, el IB y la unidad académica del Colegio de Ciencias y Humanidades, que funge como la institución que otorga el grado—, se creó un programa de especialización, maestría y doctorado en biotecnología, organizado para aprovechar la experiencia y los recursos humanos existentes en diversas dependencias universitarias. En 1987, después de tres años de creado el programa, se habían formado 17 especialistas, 12 maestros y un doctor. A mediados de 1987 estaban inscritos siete estudiantes de especialización, diez de maestría y nueve de doctorado.

En México no se cuenta con un postgrado en ingeniería genética de microorganismos, aunque existen diversas alternativas para especializarse y realizar postgrados en esta área. El mismo Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM ofrece posibilidades como parte de su programa de postgrado en investigación biomédica básica, y el Departamento de Genética y Biología Molecular del CINVESTAV-DF ofrece también una maestría y un doctorado que cubren este campo.

De los postgrados vigentes que otorgan títulos en biotecnología, se ha podido constatar que un número considerable de ellos ha sido apoyado con financiamientos del CONACYT como parte de su Programa de Fortalecimiento del Postgrado Nacional. Entre 1985-1987, han recibido financiamiento los postgrados del CINVESTAV-DF, del CINVESTAV-Irapuato, del CIIGEBI-UNAM, del ITM, del ITV, del CICY, así como un grupo considerable de postgrados en tecnología de alimentos y en ciencias agropecuarias (*Ciencia y Desarrollo* 1986, 1987). Cabe mencionar que en 1986 el CONACYT efectuó un balance de los postgrados en el área de alimentos, ya que para ese entonces se observaba una proliferación de dichos postgrados en el país. Esta evaluación dio origen a que se suspendiera el financiamiento a aquellos postgrados que no se justificaban por no contar con los recursos humanos ni las instalaciones adecuadas para su funcionamiento (Quintero, 1986b). Asimismo, durante 1985 se elaboró un Programa de Ciencias Alimentarias para la región noroeste de la República mexicana, por contarse en esa zona con una gran concentración de recursos humanos y materiales en dicha área. Con base en este programa, el CONACYT ha fortalecido los postgrados en alimentos de la Universidad de Sonora, de la Universidad de Chihuahua y del CIAD en Sonora.

En 1991 el CONACYT realizó la evaluación para constituir el padrón de excelencia de las instituciones que otorgan postgrados. Como resultado de esa evaluación se calificaron como de excelencia los siguientes postgrados relacionados con la biotecnología vegetal y agroindustrial (CONACYT, 1991):

1) Maestría y doctorado en biotecnología y bioingeniería del CINVESTAV.

2) Maestría y doctorado en genética y biología molecular del CINVESTAV.

3) Maestría y doctorado en ciencias con especialidad en biotecnología de plantas del CINVESTAV-Irapuato.

4) Maestría y doctorado en genética del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados de Chapingo.

5) Maestría en biotecnología del Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.

6) Maestría y doctorado en microbiología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN.

7) Maestría en biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana.

8) Doctorado en ciencias en biotecnología microbiana de la Universidad de Colima.

9) Maestría y doctorado en biotecnología del CCH-UACP y P, Instituto de Biotecnología de la UNAM.

En conclusión, puede afirmarse que existen diversas opciones para la formación de recursos humanos en biotecnología. Estas opciones se complementan con las posibilidades, aún vigentes, de realizar estudios de postgrado en el extranjero siempre y cuando se calicen hacia las instituciones consideradas por el CONACYT como de excelencia a nivel internacional.

El Programa Controlado de Becas (PCB) del CONACYT, vigente entre 1983-1988, tuvo como propósito promover ciertas orientaciones y que las becas para realizar estudios en el extranjero se otorgaran en áreas de prioridad nacional para las cuales no existieran programas de postgrado en el país, así como en aquellas que presentasen mayor escasez relativa en la oferta nacional de postgraduados (PRONDETYC, 1984). Entre los sectores prioritarios de dicho programa figuraban la agricultura, la ecología y la salud. El PCB ha puesto énfasis en la formación de recursos en biotecnología, puesto que esta área de investigación fue considerada como prioritaria para los sectores mencionados. Sin embargo, dada la agudización de la crisis económica en los últimos meses de 1987, este organismo tuvo que suspender su programa de becas al extranje-

ro, manteniendo únicamente a los becarios que ya habían iniciado sus entrenamientos en años anteriores. Por ello, hacia 1988 las oportunidades de formación en el extranjero se limitaron a las becas que otorgaban los gobiernos y fundaciones extranjeros mediante los convenios de cooperación científico-técnica.

Esta situación ha sufrido cambios en la actual administración. El CONACYT ha recibido créditos internacionales importantes, que entre otros objetivos le han permitido fortalecer las becas para estudios en el extranjero. Sin embargo, a diferencia de administraciones anteriores, no se han definido áreas prioritarias, por lo que es difícil saber cuál es la importancia que se está otorgando a la formación de recursos humanos en biotecnología y menos aún para los campos de la biotecnología vegetal y agroindustrial.

Dadas las circunstancias mencionadas, la opción de formar recursos de postgrado en biotecnología en el país, adquiere cada vez mayor importancia para satisfacer la demanda creciente. Lo anterior implica el fortalecimiento de los postgrados que ya existen y la creación de nuevos postgrados en forma racional, que no dupliquen ni compitan con los que ya funcionan.

Por lo que se refiere a la participación del sector productivo en la formación de recursos, hacia 1987 era bastante limitada, y con respecto a la biotecnología, no existían acciones explícitas de las empresas para contribuir a la formación de recursos en esta área, o bien eran esporádicas y se definían a partir de convenios de colaboración con centros de investigación, mediante los cuales la empresa ofrecía entrenamientos técnicos a estudiantes o les facilitaba instalaciones para realizar sus trabajos experimentales. Sin embargo, esta situación ha cambiado a partir de 1990, y las empresas participan cada vez más activamente en la formación de los recursos humanos que éstas requieren. En cuanto a la participación de las empresas extranjeras, entre 1985 y 1988 el Programa México, instituido por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), captaba recursos para otorgar becas para estudiantes de postgrado.

La oferta de postgraduados en los campos de la biotecnología vegetal y agroindustrial, en términos cuantitativos, es limitada. El mercado de trabajo de los egresados ha estado fundamentalmente en las instituciones de educación superior y escasamente en la industria. Así, por ejemplo, de los egresados del CINVESTAV-DF la mayoría ha ido a trabajar a centros de educación superior en provincia y muy pocos a la industria (Esparza, 1986).

Hasta ahora la dinámica entre el sector de educación superior y el sector de investigación de esos centros es lo que ha determinado la demanda de recursos en biotecnología. Sin embargo, el sector educativo ha dejado de crecer por falta de presupuesto y no está en posibilidades de incorporar a los recursos humanos que en él se han formado. En el caso de la UNAM, esta situación se está reflejando en una baja en las inscripciones al postgrado en biotecnología, ya que las perspectivas posteriores de empleo son bastante inciertas (Sánchez, 1986).

Hacia 1987 se creó una nueva instancia educativa para la formación de recursos humanos en biotecnología. El Instituto Politécnico Nacional (IPN) instituyó la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBIT), cuyos objetivos eran el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos en las especialidades de ingeniería de alimentos, ingeniería ambiental, ingeniería biomédica, ingeniería biotecnológica e ingeniería farmacéutica, que permitieran contar con profesionales altamente capacitados con un enfoque interdisciplinario (*Excelsior*, 22-X-87). Esta nueva instancia educativa pretendía formar recursos capacitados en biotecnología en el nivel de licenciatura y no era de ningún modo original, sino que constituía un mecanismo que venía a duplicar esfuerzos y áreas de formación ya cubiertas por otras instituciones de educación superior en el nivel de licenciatura, inclusive por las escuelas profesionales del mismo IPN.

Hacia 1992 había egresado la primera generación de alumnos que ingresaron a sus licenciaturas en 1987. Concluyó sus estudios un total de 25 alumnos, cuatro en ingeniería de alimentos, ocho en ingeniería biomédica, diez en ingeniería biotecnológica, tres en ingeniería farmacéutica y ninguno en ingeniería ambiental (Sánchez Cerezero, 1992). Cabe destacar que el objetivo de esta unidad es formar profesionales especializados para trabajar en la industria, no formar investigadores. Sin embargo, la unidad se ha enfrentado a diversos problemas entre los que sobresalen la baja demanda de sus carreras y la falta de personal especializado para integrar la planta de profesores (Sánchez Cerezero, 1992).

La creación de la UPIBIT fue producto de factores políticos y la respuesta a un deseo expresado por el entonces presidente Miguel de la Madrid, de crear nuevas instancias educativas que permitiesen el desarrollo tecnológico del país en las áreas de punta. Este planteamiento fue ya expresado por Lázaro Cárdenas en los años treinta, cuando afirmaba que el desarrollo industrial y agrícola del país debería apoyarse en una base tecnológica propia (Casas,

1985). Dicho planteamiento dio origen en 1938 a la creación del IPN. El presidente De la Madrid empleaba la misma argumentación, pero en un contexto diferente. Las medidas de Cárdenas se inscribían en una política nacionalista que pretendía el desarrollo de tecnología para apoyar la industria nacional. Las medidas educativas de De la Madrid hacia 1987 se inscribieron en una política de apertura al capital transnacional, por lo que la formación de personal capacitado en tecnologías de punta vendría a satisfacer la demanda de ingenieros que ya están planteando las grandes empresas transnacionales.

Este fenómeno de creación de nuevas instituciones o dependencias educativas con la consiguiente construcción de nuevos edificios e instalaciones, es uno de los factores que ha frenado y contribuido también a la dispersión de los recursos de la investigación científica. Más que crear nuevas instituciones formadoras de recursos, es necesario aprovechar al máximo las ya existentes, darles nuevas orientaciones y canalizarles mayores financiamientos, así como echar a andar mecanismos para integrar los trabajos que en ellas se desarrollan.

5.3 La vinculación con el sector productivo

El problema de la vinculación del sistema científico-tecnológico con el sector productivo ha sido objeto de comentarios, críticas y propuestas desde que se plantearon los primeros mecanismos de política de ciencia y tecnología en el país. Éstos se elaboraron por primera vez en forma explícita durante los años treinta y volvieron a retomarse en 1970 cuando se institucionalizó la política de ciencia y tecnología en el país con la creación del CONACYT (Casas, 1985; Casas & Ponce, 1986). Si bien en el plano gubernamental se han instituido múltiples mecanismos de estímulo y fomento a esa vinculación, el problema aún no se soluciona en forma global. La necesidad de establecer esa vinculación se agudiza cuando se inicia la crisis económica, a principios de los años ochenta y la política de apertura aplicada por el gobierno mexicano desde mediados de esa década. Esta situación, que en un principio planteó fuertes limitaciones a la política de importaciones, ha generado la necesidad de estimular un desarrollo tecnológico propio para satisfacer las demandas del sector industrial nacional.

Para el caso de la biotecnología, los problemas de vinculación con el sector productivo se hacen más evidentes que para otras

áreas de la investigación científica. Esto se debe al carácter fuertemente aplicativo de esta área de investigación, cuyo objetivo fundamental es la producción de bienes y servicios. Por lo anterior, existen cada vez más presiones para lograr la vinculación, que han llevado al cambio de políticas en el sector gubernamental y a la adopción de nuevos mecanismos en los centros de educación superior en los que se realizan investigaciones en esta área.

Los mecanismos de política para el fortalecimiento de esta vinculación, vigentes para el período 1982-1988, estaban contenidos en el PRONDETYC y se expresaban en los siguientes programas: 1) programa de enlace investigación-producción, orientado a fortalecer la planta productiva, en especial la pequeña y mediana industria, y promover la autodeterminación tecnológica; 2) un conjunto de instrumentos financieros para el desarrollo tecnológico, que se han ido estableciendo desde 1970, y que da preferencia a las inversiones en empresas basadas en tecnología de origen nacional y fomentan las innovaciones tecnológicas y las inversiones de las empresas en áreas de aplicación de las nuevas tecnologías; 3) un programa de adaptación de tecnologías, para fomentar la capacidad del país en este renglón, y 4) el programa de riesgo compartido, establecido desde 1979 por el CONACYT, para fomentar el desarrollo tecnológico nacional mediante convenios bilaterales entre empresas, organismos públicos y centros de investigación (PRONDETYC, 1984).

La política gubernamental para la vinculación entre los desarrollos científicos y tecnológicos y el sector productivo adquiere aún mayor relevancia en la presente administración, y los lineamientos generales contenidos en el actual Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994, establecen los siguientes aspectos relevantes en este renglón: entre los objetivos generales de desarrollo tecnológico deberá asegurarse la participación complementaria de los productores y del gobierno en el desarrollo tecnológico del país. Esto quiere decir, según lo especifica el citado Programa, que se tenderá hacia una situación en la que el sector productivo moderno financie, en su mayor parte, sus necesidades tecnológicas directas, tal como sucede en los países de mayor desarrollo tecnológico. Los proyectos de carácter tecnológico de los centros de investigación deberán ser cofinanciados por el sector público y privado y los empresarios deberán participar en los órganos de gobierno de los centros de investigación que generen desarrollos tecnológicos. Dicho cofinanciamiento de proyectos y programas específicos se realizará mediante diferentes

mecanismos, entre los que figuran: fondos aparejados establecidos en el mencionado Programa; programas de crédito para el desarrollo tecnológico, captación de recursos por vía del mercado de capitales, promoción de fondos o fundaciones privadas, participación indirecta del sector productivo a través de la captación de recursos condicionales en el mercado de capitales y un tratamiento fiscal especial a los gastos tecnológicos de las empresas (SPP-CO-NACYT, 1990).

A partir de los años ochenta, los organismos que financiaban proyectos de investigación, tales como el CONACYT y el COSNET, adoptaron como criterio dar prioridad a aquellos que planteaban la existencia de un usuario formal o potencial. En el caso del CONACYT, ante el sentimiento de fracaso que existía entre sus funcionarios a mediados de los años ochenta, por la falta de avances sustanciales en el desarrollo tecnológico nacional, se pensó en dar preferencia al financiamiento de proyectos presentados mediante el programa de riesgo compartido. Este programa implicaba que el centro de investigación que realizaba el desarrollo tecnológico contara con un convenio, con una empresa que estuviera dispuesta a invertir capital de riesgo en ese desarrollo. Los funcionarios de este organismo manifestaron que preferían invertir en estos proyectos de riesgo en vez de financiar lo que ellos mismos denominaban proyectos de "fondo perdido" (Elizondo, 1987). Según información proporcionada por funcionarios del CONACYT, entre 1982 y 1987 se concertaron 108 proyectos de riesgo compartido, de los cuales siete proyectos correspondían al área de biotecnología (Capallera, 1987).²

Por su parte, el COSNET, dependiente de la SEP, contaba hacia 1987 con un núcleo de gestión tecnológica, formado por un grupo de ingenieros, quienes se encargaban de promover la vinculación entre centros de investigación y empresas. Esta instancia había logrado promover solamente dos proyectos, uno de ellos relacionado con la biotecnología, y que consiste en la producción de *Bacillus Thuringensis* como bioinsecticida. Este proyecto está bastante avanzado y el desarrollo tecnológico efectuado por el Instituto Tecnológico de Veracruz realizaba hacia 1987 los trámites para obtener el permiso de la Secretaría de Salubridad para su

² Durante la entrevista personal con este funcionario no fue posible obtener la información sobre los títulos de los convenios de riesgo compartido en biotecnología. Por lo anterior no se puede determinar cuántos de ellos se relacionan con las áreas agrícola y agroindustrial. Sin embargo, de las entrevistas con los investigadores en biotecnología se desprende que el proyecto para la producción de hongos a partir de residuos de pajas y aserrín, es uno de los apoyados por dicho programa.

aplicación. El COSNET se enfrentaba a problemas presupuestarios que no le permitían ejercer con eficacia esta tarea de gestión, por lo que se avanzaba lentamente con los fondos disponibles (Villatreviño, 1987).

En general, varios funcionarios públicos coincidían en que las instituciones de investigación deberían contar con sus propios mecanismos internos de vinculación, ya que si cada institución tuviera un centro de gestión esta tarea se facilitaría (Capallera, 1987 y Villatreviño, 1987).

En efecto, algunas instituciones ya habían empezado, desde mediados de los años ochenta, a poner en práctica estos mecanismos. Tal vez el ejemplo más interesante sea el de la UNAM, que en 1979 creó el Centro para la Innovación Tecnológica (CIT), organismo que tiene por objeto vincular el potencial tecnológico de la UNAM con las demandas de la industria, proporcionando a la comunidad universitaria diversos servicios de apoyo para lograr la transferencia de la tecnología al sector productivo. Esta vinculación se ejerce a través de distintas funciones entre las que destacan: *a*) realización de investigaciones sobre el proceso de innovación tecnológica; *b*) formación de recursos humanos en los aspectos de la innovación tecnológica; *c*) vinculación de las capacidades tecnológicas de la UNAM con el sector productivo, y *d*) identificación de proyectos tecnológicos multidisciplinarios de interés prioritario para el país (CIT, 1986).

A partir de 1985, el CIT comienza a descentralizar sus funciones de transferencia de tecnología, para lo que se crea una Red de Núcleos de Innovación Tecnológica instalados en distintas unidades de investigación de la UNAM, a las que el CIT presta asesoría. De esta Red de Núcleos existen siete instalados en centros, facultades e institutos de la UNAM, de los cuales tres se relacionan con centros de investigación biotecnológica, y se encuentran instalados en el Instituto de Investigaciones Biomédicas, en el Instituto de Biotecnología y en el Centro para la Fijación del Nitrógeno, respectivamente.

Hasta 1987 el CIT había logrado concertar 80 contratos de desarrollo y transferencia tecnológica y asistencia técnica, de los cuales destacan 13 convenios específicos con empresas, entre los que se cuentan ocho transferencias de tecnología en el área biotecnológica, lo cual da una idea de la importancia que se ha asignado a esta área de investigación. De estos convenios, cuatro se relacionan con el sector alimentario y cuatro con el sector salud. En el área de alimentos los desarrollos que se han transferido a la

industria son: *a*) la producción de BIOFERMEL, alimento proteico para animales a partir de desechos agrícolas; *b*) producción de colorantes naturales rojos y amarillos a partir de betabel para la industria alimentaria; *c*) producción de leche en polvo instantánea, y *d*) producción de proteína de origen unicelular a partir de suero de leche.

Aunque el CIT considera en el mismo listado a estos desarrollos tecnológicos, no todos ellos se encuentran en el mismo nivel de producción. Tal vez el caso del BIOFERMEL sea el único que ya se produce y comercializa, contándose a la fecha con dos empresas que lo producen bajo licencia de la UNAM. Los demás convenios aún están en el nivel piloto, por lo que se desconoce cuál será su destino final y su nivel de producción.

Es importante mencionar que el CIT no tiene áreas de prioridad para las transferencias de tecnología. El factor decisivo es la factibilidad y viabilidad del proceso, para lo cual los funcionarios del CIT realizan una evaluación de distintos aspectos, considerando la relevancia económica, científica y técnica, política y social de cada proceso, aplicando para ello criterios personales de los evaluadores, que según el propio entrevistado no son muy claros (Solleiro, 1987). Asimismo, el CIT no posee una política de discriminación en cuanto al tipo de empresa con la que se establecen las vinculaciones y existe la posibilidad de elaborar proyectos tanto para empresas nacionales pequeñas y grandes, como para empresas transnacionales.

Las vinculaciones se realizan tanto como resultado de la oferta de desarrollos tecnológicos de los centros de investigación universitarios, como de las demandas planteadas por el sector productivo a través del CIT o directamente a las unidades de investigación. El carácter confidencial es la norma de estos convenios y la UNAM trata de quedarse con la propiedad intelectual del proceso, es decir con la patente, otorgando la licencia de la tecnología en exclusiva a la empresa en cuestión. Los trámites de las patentes se efectúan normalmente en México y sólo en algunos casos se acude a los mecanismos de patentes internacionales, actividad que resulta excesivamente cara, ya que únicamente la solicitud de patente cuesta 800 dólares y el proceso completo ascendía en 1987 a aproximadamente 4 000 dólares (Solleiro, 1987).

Los mecanismos puestos en práctica por el CIT son un gran avance para la solución del problema de la vinculación con la industria. Sin embargo, el enfoque que aplica este organismo no está enmarcado en una evaluación crítica de la relevancia social

de los proyectos, ni del tipo de empresas que se beneficiarán de ellos. Además, el personal del CIT no posee los conocimientos específicos de carácter científico y técnico para poder juzgar los desarrollos tecnológicos. Para lo anterior, dicho centro se vale de expertos que juzgarán el proceso dependiendo de su vinculación con el investigador responsable.

Paralelamente a las acciones que lleva a cabo el CIT, se han establecido otros convenios para promover la vinculación entre investigación e industria. En 1987 se firmó un convenio entre la UNAM y el Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas (IMIT), mediante el cual este Instituto elaborará perfiles de mercado de los productos biotecnológicos que se investigan en el IB. Asimismo, en ese mismo año se firmó otro convenio de colaboración entre el CIT y la Dirección General de Promoción Industrial y Desarrollo Regional de la SECOFI, para que se promovieran entre las empresas nacionales los proyectos de innovación tecnológica desarrollados en la UNAM (*Gaceta UNAM*, 1987).

Los mecanismos de vinculación de las investigaciones universitarias con el sector productivo también han empezado a llevarse a la práctica en otros centros, tales como el CINVESTAV y el CICY. Sin embargo, éstos aún son incipientes y se limitan a buscar contactos con empresas. Otra modalidad en los intentos de vinculación es la que se realizaba en el INIREB³ de Xalapa, que ofrecía cursos de capacitación con destino a la producción y aplicación de procesos generados por ese Instituto, específicamente para la producción de *Pleurotus* en pulpa de café.

Durante el trabajo de campo se recabaron diferentes opiniones provenientes de los biotecnólogos respecto de las formas de vinculación. Varios de ellos critican este modelo de vinculación directa entre universidad y sector productivo (Michel, 1986; Viniestra, 1986, 1987), ya que los universitarios no conocen el ámbito empresarial y las iniciativas como las del CIT corren el riesgo de convertirse en instancias o instituciones burocráticas. Por lo anterior, estos investigadores proponen un modelo de vinculación indirecta, a través de instancias o instituciones intermedias ubicadas fuera de las universidades tales como los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (LANFI), los Centros de Investigación y Asistencia Tecnológica de los Estados (CIATeS)

³ El Instituto Nacional de Investigaciones en Recursos Bióticos (INIREB) fue cerrado en 1988 y las investigaciones que ahí se desarrollaban fueron suspendidas. En sus instalaciones se ha integrado al Instituto de Ecología que estableció su sede en la ciudad de Xalapa en 1989.

creados por el CONACYT, o bien empresas privadas de desarrollo tecnológico y asociaciones civiles.

En efecto, en el país existen diferentes instancias que consideran entre sus funciones la canalización de transferencias tecnológicas a las empresas o la canalización de las demandas tecnológicas a los centros de investigación. Los LANFI fueron creados con ese propósito en la década de los cuarenta; sin embargo, sus funciones han sido muy limitadas por el poco apoyo gubernamental que han recibido para ello y por la poca credibilidad que han inspirado en los centros de investigación.

En el país existen ya formas organizativas que podrían poner en práctica los mecanismos de vinculación, pero hay una carencia de personal capacitado para trabajar en esas tareas, que conozca tanto lo que implica un proceso de desarrollo tecnológico como los problemas inherentes a los sectores económicos y a la dinámica de los mercados nacionales e internacionales.

En general, los investigadores desconocen los problemas del sector productivo, lo que se ha convertido en una gran limitante para el desarrollo de procesos relevantes para ese sector. Por otro lado, los desarrollos tecnológicos realizados en los centros de investigación no siempre se acompañan de estudios de factibilidad económica, lo que constituye otra importante limitación para la vinculación con el sector productivo.

Estos elementos han logrado conjugarse en experiencias realizadas por investigadores universitarios, que habiendo desarrollado un proceso tecnológico en las universidades, salen de ellas y se dedican a aplicar y comercializar las tecnologías, con el consiguiente abandono de sus actividades de investigación. En el área de la biotecnología existen algunos ejemplos de investigadores que han formado pequeñas empresas para explotar comercialmente sus propios desarrollos tecnológicos, con lo que se ha promovido también en México el llamado *spin off* universitario.

Si se continúa con el actual enfoque de vinculación, se tenderá a dar prioridad a las investigaciones que sean relevantes para el mercado y que en general encuentran aplicaciones de corto plazo. El deseo auténtico de muchos investigadores de contribuir con sus trabajos al desarrollo del país, corre el riesgo de reducirse a satisfacer cualquier demanda tecnológica del mercado. Este riesgo ya se percibe en las opiniones de varios biotecnólogos, quienes afirman que las aplicaciones de los procesos biotecnológicos no tienen que ser demasiado sociales. Al referirse al tipo de vinculación, afirman que no tienen prejuicios acerca del tipo de aplica-

ción, ni respecto del tipo de empresas que las promuevan (Pérez Gavilán, 1986; Soberón, 1986).

Además, entre los biotecnólogos entrevistados a fines de los años ochenta, se percibió una marcada preferencia por el sector privado y una actitud negativa hacia las vinculaciones con las empresas públicas. Esto último es explicable en vista de la informalidad de las empresas gubernamentales para cumplir con sus compromisos de vinculación y en la falta de apoyos financieros para tal fin. Sin embargo, son los convenios de vinculación con las empresas estatales los que plantean objetivos a largo plazo, que podrían al mismo tiempo satisfacer demandas de mercado y a la vez cubrir demandas económico-sociales. Tales son los casos de la producción de proteínas de origen unicelular a partir de melazas y de la producción de la enzima B-Galactosidasa para sustituir importaciones, proyectos para los cuales se consolidaron convenios de vinculación con el Sindicato de Azucareros de la empresa estatal Azúcar S.A. y con la empresa lechera gubernamental LICONSA, mismos que cumplieron con sus acuerdos y compromisos.

En los últimos años ha sido posible que las unidades de investigación biotecnológica mejor equipadas establezcan convenios de desarrollo tecnológico con empresas extranjeras. La política gubernamental hacia 1987 daba prioridad a la inversión extranjera en el país. Como parte de esa política se echaron a andar algunos mecanismos que imponían condiciones a las empresas extranjeras para renovar sus permisos de transferencia de tecnología, solicitándose a la empresa su apoyo económico para centros de investigación y para la formación de recursos humanos. Estos apoyos se concentraron en las unidades más importantes de investigación en el país, en aquellas áreas de punta entre las que se encuentra la biotecnología, ya que las empresas transnacionales conocen el valor estratégico de estas tecnologías. Esto hizo que las empresas extranjeras aprovecharan para su beneficio los desarrollos tecnológicos de los laboratorios mexicanos, que serían utilizados para sus objetivos de mercado. Las experiencias que ya existen en este ámbito, entre las que se cuentan las del Instituto Mexicano del Petróleo constituyen, aunque no en el área de la biotecnología, una advertencia muy clara, ya que varios procesos tecnológicos desarrollados en este Instituto han sido comprados por empresas extranjeras después de haber sido desaprovechados por las empresas nacionales (Ladrón de Guevara, 1987).

En términos generales, el desarrollo tecnológico es aún incipiente en México, aunque hay casos de gran impacto industrial de

tecnologías nacionales. La tecnología empleada es en gran parte importada. El sector productivo plantea una demanda muy escasa de desarrollo tecnológico, tanto nacional como de importación, factor que se ha convertido en una de las grandes limitantes del desarrollo tecnológico nacional. Las empresas prefieren comprar la tecnología, por lo que no consideran entre sus funciones el desarrollo de la investigación tecnológica, a pesar de que éste constituye uno de los objetivos centrales de la actual política de desarrollo económico del Estado mexicano. Las empresas del sector biotecnológico en México no constituyen una excepción y su funcionamiento se basa en tecnología importada que, en muchos casos, es ya obsoleta.⁴

No es el propósito de este estudio presentar un análisis de las empresas biotecnológicas en el país. Sin embargo, se introducirán algunos elementos de sus características más generales. En el país existen aproximadamente 400 empresas biotecnológicas, algunas de las cuales se orientan a la elaboración de productos tradicionales, tales como bebidas alcohólicas y lácteos. Estas empresas trabajan con técnicas tradicionales de fermentación, y no cuentan con unidades de investigación para mejorar sus tecnologías. En otros casos, se trata de empresas que emplean tecnologías apropiadas y que no requieren de esfuerzos técnicos adicionales. Las empresas productoras de enzimas y antibióticos están en manos de transnacionales, aunque en los últimos años han surgido algunas empresas biotecnológicas en el ámbito nacional, tales como Enzymologa, Bioenzimas y Enzygen (Quintero, 1985). Las empresas que trabajan con técnicas más novedosas en el área biotecnológica, han sido analizadas en el capítulo 3, y son Biogenética Industrial y Mexicana de Micropropagación, que se orientan al cultivo de tejidos vegetales mediante técnicas de micropropagación y que no realizan actividades de investigación.

A pesar de la propaganda que se ha realizado en los últimos tiempos tanto a nivel internacional como nacional, sobre los impactos económicos y comerciales de las nuevas técnicas biotecnológicas, aún no se percibe en el país un interés de la empresa privada por el desarrollo biotecnológico. A pesar de la crisis, o tal

⁴ Cabe mencionar que en años posteriores a la realización de esta investigación se han dado algunas transferencias exitosas de procesos biotecnológicos desarrollados o adaptados en centros de investigación nacionales. Entre éstos cabe destacar la tecnología para el tratamiento anaerobio de aguas residuales, generada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y que ha sido ya licenciada para su producción industrial y su aplicación para solucionar el problema de las aguas residuales industriales

vez a causa de ella, existen pocas empresas que estén dispuestas a hacer inversiones fuertes y canalizar capital de riesgo para el desarrollo de procesos biotecnológicos. La única excepción es la del consorcio empresarial DESC, que ya se ha mencionado en los capítulos anteriores. Este grupo ha identificado mercados atractivos a nivel internacional en el área biotecnológica, y también tiene detectados a los centros de investigación nacionales que le pueden ser de utilidad para sus objetivos de mercado (Medina, 1987). No obstante, el interés de este consorcio privado no es ni el desarrollo de una base tecnológica propia, ni menos aún el logro de objetivos de orden socioeconómico, sino única y exclusivamente su competencia como consorcio a nivel internacional y el éxito en la lucha por los mercados.

Paralelamente, en el plano internacional se ha tratado de promover la asociación de capital extranjero con capital nacional para establecer empresas biotecnológicas. Tal es el caso de las negociaciones que se iniciaron en 1986 con motivo de la Misión BioMéxico 86, en la que participó la Asociación Francesa para la Promoción y Desarrollo de la Biotecnología y la Bioquímica, la cual entabló conversaciones con la Cámara Nacional de la Industria de Transformación (CANACINTRA). El principal objetivo de los empresarios franceses era conseguir la asociación con capital mexicano en la que Francia, por medio de Probiotech, proporcionaría tecnología, asesoría e ingeniería, en tanto que el inversionista mexicano aportaría el capital. De acuerdo con los empresarios que participaron en esta reunión, México representa, por su situación geográfica y por sus abundantes recursos, una posible plataforma de exportaciones de productos biotecnológicos, especialmente de aminoácidos y péptidos hacia los mercados americanos. Por lo anterior, para los franceses resulta altamente atractivo el establecimiento de empresas biotecnológicas en el país, ya que los costos de instalación se reducirían considerablemente. Así, una planta productora de aminoácidos en Francia, que tiene un costo aproximado de 60 millones de francos, costaría en México solamente 45 millones de francos (*El Financiero*, 1986).

Actualmente se está negociando también la posibilidad de cooperación de la Comunidad Económica Europea con América Latina. Se trata de establecer convenios económicos con diferentes países latinoamericanos, y para México se prevén contratos para la producción de material vegetativo a través de técnicas de micropropagación, convenios en los que México jugaría el papel de maquilador, tal como lo ha hecho en otros renglones tecnológicos.

Existen también otras acciones de orden internacional, puestas en práctica a través de la ONUDI, que tienden al establecimiento de empresas biotecnológicas. Tal es el caso de un convenio firmado en 1987 para la producción de enzimas, que después de superar la fase experimental sería industrializado por uno de los países que participaran en el convenio.

Asimismo, como ya se ha señalado en párrafos anteriores, algunos investigadores están conformando sus propias empresas biotecnológicas. Sin embargo, este fenómeno debe ser visto no como una etapa naciente de la industria biotecnológica en el país, sino como la oportunidad para los investigadores, mediante el uso de diversos incentivos fiscales, de hacer negocio a partir de los desarrollos tecnológicos por ellos generados, y resolver así su situación económica personal con productos rentables.

Los elementos que se han expuesto en este apartado dan una idea de las orientaciones que está tomando el proceso de vinculación entre la investigación y la industria en el área biotecnológica. La falta de definición de una política nacional en este campo, aspecto al que se hará referencia en el próximo capítulo, es sin duda una gran limitante para echar a andar los mecanismos de vinculación. Dada esta situación, los logros de vinculación entre investigación y empresas tenderán a beneficiar los intereses del capital privado nacional o extranjero y no repercutirán en el logro de objetivos globales de desarrollo nacional.

CAPÍTULO 6

HACIA UNA POLÍTICA BIOTECNOLÓGICA

El país carece de una política nacional en biotecnología, a pesar de que a principios del sexenio presidencial de 1982-1988, se hicieron varios esfuerzos por elaborar un programa en la materia. Desde los inicios de esa década se han dado al respecto elementos dispersos relacionados con la biotecnología, que han producido una política desintegrada y poco efectiva para el desarrollo de esta área de investigación. Diversos organismos públicos intervienen o han intervenido en la política explícita e implícita de desarrollo biotecnológico, a nivel nacional, que está constituida por las medidas puestas en marcha por diferentes entidades gubernamentales que han decidido apoyar esta área de investigación y cuyos objetivos varían según su campo de interés. En este capítulo se exponen los contenidos centrales de los planteamientos formulados por cada una de estas entidades gubernamentales durante el período de De la Madrid, los cuales se actualizan en un segundo apartado de este capítulo en el que se exponen las directrices actuales que ha tomado la formulación de una política biotecnológica y los resultados globales que está generando en el desarrollo de este campo de investigación.

6.1 La política biotecnológica entre 1982-1988

Durante este período los planteamientos y acciones orientados a definir una política biotecnológica provienen de diversas entidades gubernamentales que definieron o pusieron en práctica mecanismos para promover este campo de investigación,

considerado importante para el desarrollo social y económico del país.

6.1.1 El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Hacia 1988 la SPP y el CONACYT publicaron el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico (PRONDETYC), que regiría las acciones de política para ese sector entre 1984 y 1988. En este documento se establecieron los lineamientos de política en ciencia y tecnología para los diferentes sectores económicos. Se trató de un programa de mediano plazo, es decir, que fue vigente exclusivamente para la gestión gubernamental que finalizó en noviembre de 1988. La promoción de la coordinación y ejecución del PRONDETYC era una función que correspondía al CONACYT; sin embargo, este Programa no operaba únicamente para el CONACYT, sino que marcaba las estrategias, objetivos y líneas de acción para el desarrollo científico-tecnológico nacional y, por lo tanto, era obligatorio para todas las dependencias públicas involucradas en estas actividades.

Las acciones del PRONDETYC se basan en las especificaciones contenidas en el Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988, en el que se planteaba el papel primordial de la ciencia y la tecnología para el desarrollo económico, social y cultural y para la independencia del país. Este documento fue elaborado con base en la Ley de Planeación y para su formulación se realizó un Foro de Consulta Popular en el que participaron tanto miembros de la comunidad científica, como representantes de los sectores público, social y privado.

En el PRONDETYC se establecían explícitamente lineamientos para el desarrollo biotecnológico relacionado con las prioridades nacionales, entre las que figuraban la agroindustria, la nutrición y la salud. Respecto de la primera de estas áreas, que es la que interesa para este análisis, el PRONDETYC era bastante específico en las líneas de investigación prioritarias, entre las que se señalaban: aprovechamiento de esquilmos agrícolas y residuos forestales para alimentación animal; realización de estudios para la biodegradación de residuos lignocelulósicos; desarrollo de biotecnologías tales como ingeniería genética, cultivo de tejidos e ingeniería enzimática; apoyo a la bioingeniería; producción de proteína de origen unicelular y aprovechamiento de la caña de azúcar y sus subproductos (PRONDETYC, 1984).

Las acciones que desarrolló el CONACYT entre 1984 y 1988 consideraron los lineamientos generales contenidos en el PRON-DETYC. Así, el Programa Indicativo de Desarrollo Tecnológico de la Agroindustria (PIDTA) abordó las líneas de investigación prioritarias mencionadas en el párrafo anterior y canalizó recursos a la investigación en las siguientes áreas: alimentos balanceados, post-cosecha de granos y semillas, productos perecederos, enzimas y vacunas sintéticas.

Las áreas de alimentos balanceados y enzimas son las que proyectan investigaciones en el campo biotecnológico. En la primera se definieron tres áreas prioritarias: aprovechamiento de esquilmos agrícolas, aprovechamiento integral de la yuca y proteína unicelular para consumo humano. Durante 1985 se canalizaron recursos económicos importantes a estas áreas y se apoyó un total de 16 proyectos de investigación, otorgando a ellos un monto total de 91 millones de pesos (PIDTA, 1986). Esta acción ayudó a constituir una capacidad de investigación en el área de alimentos balanceados y en el desarrollo de procesos biotecnológicos para el aprovechamiento de recursos naturales disponibles en el país.

En el área de enzimas las acciones del PIDTA tropezaron con serias dificultades. A pesar de que existían en el país varios procesos susceptibles de ser escalados a nivel piloto, las instituciones de investigación y las empresas involucradas contraían compromisos económicos de secrecía y defensa de intereses comerciales que impedían la integración multiinstitucional en esta área (PIDTA, 1986). Esto impidió definir áreas prioritarias y plantear un programa de desarrollo tecnológico, lo que llevó solamente al apoyo de proyectos individuales en el área de producción de enzimas.

Del análisis de las acciones logradas por el PIDTA, se desprende que aunque sí se canalizaron apoyos a estas áreas prioritarias, y dichos apoyos han sido definidos en reuniones convocadas por el CONACYT, en las que han participado tanto investigadores como usuarios potenciales de los procesos, no se logró la colaboración institucional ni la integración de programas en las áreas señaladas. Los apoyos del CONACYT se han otorgado a proyectos aislados, y no se han conformado programas nacionales de investigación en las áreas consideradas como prioritarias. La responsabilidad en el desarrollo de cada proyecto de investigación seguía recayendo en instituciones individuales y los proyectos de desarrollo tecnológico no planteaban una orientación interinstitucional.

La interinstitucionalidad no significa suma de proyectos, sino acciones concertadas y división del trabajo entre las instituciones

involucradas. La coordinación de proyectos ha sido el objetivo fundamental de las acciones del CONACYT desde su creación en 1970. Sin embargo, dicho organismo no posee la fuerza ni el poder político suficiente para lograr ese propósito, por lo que sus acciones en este período no fueron más allá de apoyos a instituciones en las áreas seleccionadas como prioritarias.

El balance de algunos funcionarios del CONACYT acerca de las gestiones que se realizaron en el período 1984-1987 es que los logros en materia de desarrollo tecnológico no eran muy alentadores, por lo que ese organismo planteó cambios en su política interna hacia finales del período, dando prioridad a los proyectos de desarrollo tecnológico a través del Programa de Riesgo Compartido que, como ya se ha mencionado, es un programa coordinado por esta institución.

La política del CONACYT con relación a la biotecnología estuvo basada en dos estrategias: la primera, a través de apoyos al desarrollo de este campo mediante el fortalecimiento de grupos de investigación y mediante aplicaciones industriales de sus procesos; la segunda, orientada a la creación de una infraestructura común en biotecnología, mediante el establecimiento de redes entre diferentes instituciones, que les permitieran trabajar en áreas y técnicas específicas y coordinarse para la generación de los productos biotecnológicos. Esta es un área de acción que se inició hacia 1987, la primera de las cuales fue entre el CIIGEBI, el Instituto de Fisiología Celular y el CINVESTAV para la producción de ampicilina (Elizondo, 1987). El éxito de esta estrategia haría posible el desarrollo de proyectos interinstitucionales y el logro de las prioridades seleccionadas.

6.1.2 La Secretaría de Educación Pública (SEP)

A través del COSNET, y desde 1982, la SEP contaba con un programa de apoyo a la investigación, ya que este organismo consideraba que dicha actividad constituía la columna vertebral del sector educativo. Como parte de ese programa, se seleccionó un conjunto de áreas estratégicas, entre las cuales se encontraba la biotecnología y otras áreas de punta, como la electrónica y la robótica. Estas áreas eran consideradas como prioritarias, aunque no se contaba con un proyecto escrito en el que se argumentase su importancia y sólo existían algunos lineamientos generales para el desarrollo de las mismas.

Los apoyos en el área de la biotecnología se dirigían a tres campos fundamentales: alimentos, ingeniería genética de plantas y fermentaciones. La política aplicada por el COSNET fue la de orientar los apoyos económicos a investigaciones realizadas por un grupo reducido de instituciones que conformaban el sistema de educación tecnológica en el país, que estaba coordinado por ese organismo. En el área biotecnológica, el COSNET concentró sus apoyos en el CINVESTAV-DF y en el CINVESTAV-Irapuato, instituciones cuya orientación fundamental en este campo es el desarrollo tecnológico (Villatreño, 1987).

El COSNET contaba además con un programa de becas, que a partir de 1987 se congeló y únicamente se mantenían las becas iniciadas en años anteriores. La política del sexenio de De la Madrid fue la de otorgar becas preferentemente para estudios de postgrado en el país en todas las áreas científicas. Sin embargo, en 1984, y dada la reciente creación del CINVESTAV-Irapuato, el programa de becas al extranjero se destinó exclusivamente para ingeniería genética de plantas, debido a la necesidad de formar recursos capacitados para desarrollar actividades de investigación en esa institución.

La importancia dada al desarrollo de una capacidad de investigación en biotecnología se observa en los montos del presupuesto otorgados por el COSNET a esta área. Según cifras proporcionadas por los funcionarios de dicho organismo (Villatreño, 1987), en el período 1982-1986 el financiamiento global que éste destinó a la investigación fue de 3 440 millones de pesos, de los cuales 778 millones se asignaron a proyectos y formación de recursos en el área biotecnológica, es decir, 23% del presupuesto de investigación de esa institución se dedicó a esta área. Sin embargo, la idea del COSNET es que no podía seguir sosteniendo económicamente a estos centros de investigación que tenían, por lo tanto, que generar sus propios fondos para sobrevivir. Es decir, que las limitaciones económicas del gobierno en ese momento forzaban a los centros de investigación a buscar nuevas fuentes de financiamiento e incluso a prestar servicios al sector industrial o a particulares para generar ingresos adicionales que permitiesen continuar con las actividades de investigación.

La importancia otorgada a la biotecnología y particularmente a la ingeniería genética de plantas por el COSNET tiene su explicación en situaciones de orden sociopolítico. Siendo director del CINVESTAV-DF el doctor Manuel Ortega, promovió la creación del CINVESTAV-Irapuato en 1981. Ello se debió a la necesi-

dad de descentralizar la investigación y a la importancia de realizar investigaciones prioritarias para el país. Por lo anterior, se seleccionó el campo de la biología vegetal y se ubicó su estudio en un estado de la República que se distinguía por la actividad agrícola (CINVESTAV, 1983). Posteriormente, el doctor Ortega fue nombrado subsecretario de Educación Tecnológica de la SEP, lo que se tradujo en un apoyo muy fuerte a la ingeniería genética de plantas y en una importante canalización de recursos a ese centro. Esta situación se modificó en diciembre de 1988 con el cambio de autoridades gubernamentales, lo que significó una disminución de los apoyos que hasta entonces había recibido ese centro.

6.1.3 La Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA)

La SSA no contaba con un programa explícito en biotecnología. Sin embargo, era en ese sexenio una de las entidades estatales con mayor poder en lo que se refiere al apoyo a la biotecnología en el área de salud. El entonces secretario de Estado, doctor Guillermo Soberón, había sido fundador del CEFINI y del CIIGEBI durante su gestión como rector de la UNAM. Esto se tradujo en una importante canalización de recursos nacionales e internacionales a estos dos centros de investigación y en un estrecho contacto entre los investigadores de esos centros con las esferas políticas.

Hacia 1987 la SSA había iniciado gestiones para obtener fondos de la Fundación Rockefeller para la creación de un nuevo centro de biotecnología en el país (*El Financiero*, 1987). La posición del doctor Soberón dentro de aparato político promovió, sin duda alguna, un clima favorable al desarrollo de la biotecnología en los círculos gubernamentales; sin embargo, las acciones gubernamentales se orientan sobre todo al área de salud y específicamente a la producción de fármacos, en donde México tiene pocas posibilidades de competir, debido a la influencia y el monopolio de las grandes empresas transnacionales. Las acciones de la Secretaría en materia de biotecnología no estaban coordinadas con otras acciones gubernamentales y el peso político de las decisiones tomadas por esa institución determinaban, en gran parte, las directrices nacionales de la investigación biotecnológica y las prioridades que se asignaban a nivel gubernamental.

6.1.4 La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)

A partir de 1984, esta Secretaría puso en marcha algunos mecanismos de política que tenían relación con el desarrollo de la biotecnología en el país. La Dirección General de Transferencia de Tecnología de esta Secretaría coordinó el Programa México (PM), que era un fondo para el apoyo de la investigación en el país. Este fondo se instituyó en 1984, año en que se inició el proceso de renegociación de los convenios de transferencia de tecnología que habían sido firmados entre matriz y subsidiaria de empresas multinacionales, dado que en ese año terminaba el primer período de vigencia de diez años, máximo permitido por la legislación mexicana en la materia.

A raíz de esa renovación, la SECOFI echó andar el Programa México, mediante el cual se solicitaba a las empresas transnacionales la canalización de apoyos económicos para el desarrollo y formación de recursos tecnológicos en el país (SECOFI, 1987). Esta solicitud se planteaba a las empresas una vez firmado el contrato de transferencia de tecnología y consistía en una aportación voluntaria, que se establecía mediante compromisos verbales, aunque los funcionarios de la SECOFI trataban de promover que los apoyos fuesen anuales, indexados a la tasa de inflación y en dólares. La SECOFI actuaba como intermediaria entre las empresas y los centros que recibirían los apoyos, y quedaba en manos de las empresas la elección del tipo de apoyos y de la institución a la que se canalizaría. La participación de las empresas en el PM se planteó en cuatro modalidades: apoyo a proyectos de investigación, formación de recursos humanos, creación o fortalecimiento de infraestructura científico-tecnológica y apoyo a fundaciones no lucrativas de beneficio social.

La SECOFI estableció asimismo que, en la medida de lo posible y siempre por la vía de la negociación, se procurara que la aportación de las empresas se orientase a alguna de las áreas identificadas como de máxima prioridad, tanto por su impacto en la calidad de vida de la población, como por representar para el país ventajas competitivas de mediano o largo plazo. Estas áreas fueron: salud, desarrollo rural, biotecnología, microelectrónica, nuevos materiales, explotación de recursos del mar y fuentes alternativas de energía (SECOFI, 1987).

Este organismo se apoyaba en un banco de datos con información nacional sobre los centros de investigación y desarrollo, del cual surgían las instituciones que potencialmente podían ser apo-

yadas por las empresas. Por lo que se refiere a los recursos que se daban como becas, los criterios para la selección de becarios y de áreas de formación estaban determinados por el COSNET y el CONACYT. Sin embargo, los apoyos potenciales para proyectos de investigación y de infraestructura científico-técnica, eran propuestos por los funcionarios de la SECOFI o por recomendaciones de los contactos personales que esta institución manejaba (Caro, 1987; Esparza, 1987). Lo anterior llevó a concentrar nuevamente los apoyos en aquellos centros que, además de tener una mejor infraestructura en el área de la biotecnología, tenían también mayor acceso político a estos recursos. Así, según la información disponible hasta 1987, las instituciones beneficiadas en el área de biotecnología por el PM habían sido el CIIGEBI-UNAM y el CINVESTAV, aunque no se proporcionó la información sobre los proyectos específicamente apoyados.

La política puesta en práctica a través del PM estaba, por lo tanto, en manos de los funcionarios de la SECOFI y no tenía relación con los mecanismos de política instrumentados por otras entidades públicas en el área biotecnológica. En las entrevistas realizadas con funcionarios de la SECOFI destacó su desconocimiento de los lineamientos de política contenidos explícitamente en el PRONDETYC, en el área de la biotecnología. Asimismo, se pudo percibir que la SECOFI, según lo expresaron los entrevistados (Esparza, 1987), pretendía convertirse en la entidad que controlara la política biotecnológica en el país, pasando por alto al CONACYT, que es la entidad pública responsable de la política de ciencia y tecnología.

La SECOFI, a través de la Dirección General de Patentes y Marcas, coordinó la discusión sobre la nueva Ley de Invenciones y Marcas aprobada en enero de 1987 y reformada nuevamente en junio de 1991. A pesar de las presiones que ejercieron las empresas transnacionales, quienes ponían como condición para invertir en el país el contar con un cuerpo jurídico que les permitiera patentar cualquier proceso tecnológico, la Ley sólo fue modificada en la primera ocasión en algunos aspectos y no se introdujo en la legislación la posibilidad de patentar los siguientes productos: *a*) especies vegetales, animales y sus variedades, ni los procesos esencialmente biológicos para su obtención; *b*) los procesos biotecnológicos para la producción de farmoquímicos, medicamentos en general, bebidas y alimentos para consumo animal, fertilizantes, plaguicidas, herbicidas o fungicidas, y *c*) los procesos genéticos para la obtención de especies vegetales, animales o sus variedades (Diario Oficial, 1987). Sin embargo, en 1991 se modificó de nuevo

repentinamente, legislándose y determinándose la posibilidad de patentar todo proceso biotecnológico, incluidas las variedades vegetales, exceptuándose exclusivamente las especies animales.

Esta situación fue producto de numerosas discusiones sobre legislación en biotecnología, que se promovieron tanto en el ámbito nacional como en el internacional. En 1984 se organizó un foro sobre este tema, auspiciado por el International Centre for Law in Development, que tuvo lugar en México. En dicho foro, en el que participaron numerosos investigadores y funcionarios mexicanos, se plantearon los principales argumentos encaminados a no permitir que se modificara la legislación para patentar procesos biotecnológicos en el país.

La oposición a tal legislación se fundamentaba en que, dado el grado de desarrollo de la biotecnología en México y la actual tendencia internacional hacia la privatización de los procesos y productos por ella generados, no era recomendable introducir elementos que redundasen en beneficio de un grupo minoritario y en el control de los recursos genéticos del país por las empresas agrícolas transnacionales. En dicho foro se partió de la diferencia esencial que existía entre un desarrollo biotecnológico generado en el país, y la importación de tecnología del exterior. Ésta era una diferencia crucial cuando se evaluaban los costos y beneficios de la ley de patentes y de la ley de transferencia de tecnología (ICLD, 1984).

La posición que se definió en ese foro, tres años antes de que se aprobara la nueva Ley de Invenciones y Marcas, fue la que prevaleció en el ámbito nacional. No obstante, las empresas transnacionales presionaron para la modificación de la Ley. La política económica de apertura a las inversiones extranjeras, que se inició durante el gobierno de De la Madrid como una forma de reactivar la economía nacional, estaba siendo frenada precisamente por las características de la Ley, por lo que las empresas transnacionales argumentaban que en esas condiciones, no estaban suficientemente protegidas en materia de propiedad intelectual.

Lo cierto es que tal como quedó modificada en enero de 1987, dicha Ley protegía los intereses de la investigación nacional, los recursos genéticos, así como la posibilidad de preservar dichos recursos y procesos para el beneficio de la humanidad. Sin embargo, las empresas transnacionales no cesaron en sus presiones y lograron que en junio de 1991 se modificase nuevamente la Ley de Invenciones y Marcas, con lo que se ampliaban de manera importante las posibilidades de patentamiento.

6.1.5 La Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP)

Esta secretaría impulsó, desde 1985, un Programa de Reconversión Industrial que planteaba estrategias de desarrollo a través de diferentes empresas clave para el país. Dicha reconversión, entendida en términos de nuevas orientaciones para las industrias, puso énfasis en la importancia de incorporar nuevas tecnologías para optimizar la producción industrial.

La SEMIP elaboró un Programa de Reconversión de la Industria Azucarera que planteó algunos tópicos relacionados con la biotecnología. Este Programa pretendía acelerar el mejoramiento de los niveles de productividad y eficiencia, reactivar la inversión privada y social, ofreciendo una mayor participación en el esfuerzo productivo y coadyuvar con la rentabilidad económica y financiera del sector paraestatal, a través de la racionalización de sus costos de producción y saneamiento de sus finanzas (SEMIP, 1986). En síntesis, se planteó un cambio estructural de la industria azucarera, siendo una de las etapas de ese cambio la modernización técnica de la producción.

Para el logro de este objetivo se propusieron diversas estrategias, una de ellas relacionada con técnicas mejoradas de cultivo y el uso de variedades con diversas características agroindustriales y fitosanitarias, y otra orientada a la utilización de los subproductos de la industria azucarera, para el desarrollo de nuevos productos y procesos. Entre éstos se incluían alimentos para ganado, abonos orgánicos, ácido oxálico, azúcar líquida, proteína unicelular, aglomerados y celulosa. Asimismo, se planteaba que en el fomento de esos nuevos productos era necesaria la incorporación de la biotecnología (SEMIP, 1986).

Sin embargo, en dicho Programa no se hicieron planteamientos en cuanto a los procesos biotecnológicos relevantes para la reconversión de la industria azucarera; el documento careció de una estrategia en este terreno y mantuvo una gran ambigüedad respecto de los procesos y productos prioritarios a ser considerados por la biotecnología. Esto a pesar de que en el país se contaba con expertos que conocían las posibilidades y limitaciones de los subproductos de esta industria.

A fines de 1987 la empresa paraestatal Azúcar S.A. inició la venta de un gran número de ingenios y procedió al cierre de aquellos que no resultaban rentables. Dos años después de haberse producido el Programa, se plantearon grandes interrogantes sobre las posibilidades reales de la reconversión de esta industria. En

el plano tecnológico las posibilidades se minimizaron, dada la escasez de recursos y el bajo ritmo de la actividad económica del país. Los análisis económicos más recientes plantearon la posibilidad de congelamiento de la reconversión de la planta industrial del país, debido en gran parte al rezago tecnológico y a la crisis económica de ese entonces.

Aunado a lo anterior, el planteamiento contenido en el documento de reconversión de la industria azucarera, consideró exclusivamente la problemática nacional. Fue notoria la falta de un análisis sobre la sustitución del azúcar como edulcorante a nivel internacional. Los pronósticos elaborados en dicho documento consideraban el éxito logrado en 1985 en cuanto a autosuficiencia en ese producto. Sin embargo, no se consideró la suerte que sufrirían los excedentes de esa industria, que difícilmente podrían ser colocados en los mercados internacionales, dada la sustitución que se había producido mediante el uso de la isoglucosa del maíz y del aspartame. En esta industria tan importante para México, la reconversión no estuvo planteada en términos de nuevos usos para la caña de azúcar, ni del desarrollo de una nueva industria alrededor de ella, sino exclusivamente en relación con el aumento de los niveles de productividad y eficiencia en las condiciones actuales de producción y de mercado.

6.1.6 La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)

Ésta es una de las entidades públicas que debería estar más involucrada en la política y estrategias para el desarrollo de la biotecnología agrícola y agroindustrial. Esta Secretaría cuenta, desde los años cuarenta, con un Instituto de Investigaciones Agrícolas (INIA), que actualmente se transformó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), organismo público responsable de las actividades relacionadas con la biotecnología agrícola y agroindustrial en el país. Sin embargo, hasta ahora el INIFAP no desarrolla investigación en este campo.

Hacia mediados de los años ochenta la SARH manifestó su interés por el desarrollo biotecnológico ligado a la agricultura. El entonces secretario de la SARH, Pesqueira Olea, viajó en 1986 a la Universidad de California en Davis para conocer los programas que se desarrollaban en el campo de la biotecnología. Esta idea surgió del hecho de que en dicha universidad se habían graduado

muchos de los investigadores que trabajan en el INIFAP. Pesqueira Olea manifestó en esa oportunidad su interés por reforzar la vinculación entre la SARH y esa Universidad mediante convenios de colaboración (COMUNIFAP, 1986).

Asimismo, algunos funcionarios de la Secretaría realizaban actividades para familiarizarse con el campo de la biotecnología y para conocer el estado de su desarrollo en el país. Para tal propósito se constituyó un grupo en dicha dependencia, que realizó un estudio sobre el estado del arte de la biotecnología en el país; posteriormente ese grupo trataría de definir una política para el desarrollo biotecnológico aplicado a la agricultura.

Sin embargo, hacia fines del sexenio no se contaba con ningún planteamiento de política por parte de la Secretaría, además de que la investigación que se realizaba en el área agrícola estaba enfocada principalmente a las técnicas tradicionales de fitomejoramiento.

6.1.7 El Programa Estatal de Desarrollo Industrial del Estado de Jalisco

Aunque no se trata de un programa instituido por un organismo gubernamental y se refiere exclusivamente a un planteamiento de política para uno de los estados de la República mexicana, se considera importante incluirlo en este inciso, ya que ese programa contenía un subprograma estatal para la biotecnología (*Plan Jalisco*, 1986). En este documento se definieron las posibilidades de uso de procesos biotecnológicos para los siguientes aspectos: alimentos, productos pecuarios, residuos orgánicos, glucósidos, proteínas y sector salud.

La idea central de este documento era plantear acciones para poder avanzar hacia una "biosociedad", es decir, hacia formas de organización social que utilizaran la amplia gama de posibilidades que ofrecía la biotecnología, para lo cual se requería no solamente desarrollar técnicas de producción más adecuadas, sino simultáneamente profundizar en los conocimientos sobre el ser humano sobre las sociedades, sobre el medio ambiente y sobre la interacción de todos estos factores (*Plan Jalisco*, 1986).

No se conocen con detalle los orígenes de este documento ni los elementos que determinaron la inclusión de estos planteamientos de desarrollo biotecnológico en el marco de un plan estatal de desarrollo industrial. Sin embargo, se sabe que fueron

elaborados por un investigador en biotecnología, que forma parte del CIATEJ.

Este documento fue elaborado pensando no en su aplicación en el corto plazo, sino en el sexenio que se iniciaría en diciembre de 1988. Incluía, asimismo, aspectos prospectivos, referidos no exclusivamente a la investigación sino también a los mercados potenciales en el ámbito estatal, a los financiamientos requeridos, a la experiencia existente en el estado de Jalisco en materia de investigación, así como a las características que deberían tener las empresas biotecnológicas.

6.2 Organizaciones internacionales y la biotecnología en México

En la esfera internacional, hacia 1988 se habían gestado programas y convenios sustentados por diversos organismos internacionales interesados en apoyar el desarrollo de la biotecnología en la región latinoamericana. Estos programas surgieron de la concepción que sostiene que la biotecnología puede contribuir a solucionar la crisis agrícola y alimentaria que afecta a los países subdesarrollados. Con tal fin, se asignaron fondos para apoyar diversas áreas de investigación y para ayudar a formar una capacidad científico-técnica en este campo. México participa en los siguientes programas internacionales:

6.2.1 El Programa Regional de Biotecnología para América Latina y el Caribe (ONUDI-PNUD-UNESCO)

Se trata de lograr un impacto socioeconómico relevante con el desarrollo de la biotecnología, para generar productos, procesos y servicios en forma conjunta entre diferentes países de la región. Los países participantes en este programa lo hacen por su propia iniciativa y las colaboraciones se establecen entre países afines desde el punto de vista de su capacidad tecnológica. El programa contaba hacia 1987 con un fondo de cinco millones de dólares para un período de cinco años. Desde 1979 se inició la idea para constituir este programa y hacia 1983 se puso en práctica la formación de redes y centros de excelencia en la región, con lo que se constituyeron diversos centros de investigación microbiológica (MIRCENS). En 1985 se iniciaron las gestiones para el Programa Regional y en abril de 1987 se tomaron las primeras decisiones (Quintero, 1987a).

Las áreas prioritarias para la región son la agricultura, la alimentación y la salud. Por ello se iniciaron acciones para financiar investigaciones en los siguientes campos: micropropagación e ingeniería genética de plantas, enzimas aplicadas a la industria y sistemas de diagnóstico. En 1988 fueron aprobados tres proyectos en el área de enzimas, de los cuales uno se refiere al proceso de producción de la enzima lactasa para producir leches deslactosadas. Este proyecto lo realiza México en colaboración con Argentina y aún tendrá que decidirse cuál de estos dos países se convertirá en el productor de la enzima una vez obtenido el proceso.

A pesar de que una de las áreas prioritarias del programa es la micropropagación y la ingeniería genética de plantas, en la reunión celebrada en abril de 1987 no se llegó a ningún acuerdo para apoyar el proyecto presentado por un grupo de investigadores de diferentes países. Esto se debió, según lo expresó uno de los coordinadores regionales (Quintero, 1987a), a diversas razones: en primer lugar, los cultivos que se propusieron para ese programa fueron fundamentalmente cultivos hortícolas e industriales de exportación, y no se consideró la investigación con granos básicos y, en segundo lugar, no se logró un consenso entre los investigadores latinoamericanos para concentrarse en un grupo reducido de cultivos. Por lo anterior, se decidió aplazar este proyecto con lo que se dejó pendiente el desarrollo de esta área prioritaria.

Cabe introducir aquí algunos comentarios sobre la forma de funcionamiento de este Programa que, al igual que otros programas de colaboración regional, canalizan recursos dependiendo de los contactos de los funcionarios que manejan los convenios. En el caso de la enzima lactasa, tal como se ha mencionado en el capítulo sobre biotecnología agroindustrial, existen en el país dos unidades de investigación que trabajan en el proceso: el Instituto de Biotecnología, en el aislamiento y producción de la enzima, y el CINVESTAV, en un proceso muy avanzado de inmovilización de la misma. Resulta significativo el hecho de que en el convenio del Programa ONUDI solamente participa el Instituto de Biotecnología, por la parte mexicana. Sin embargo, a nivel nacional, ya se ha llegado a un acuerdo entre los investigadores de esos dos centros, quienes acordaron una división del trabajo en ingeniería enzimática para evitar las duplicaciones. A pesar de este acuerdo, el Programa ONUDI no consideró la inclusión del CINVESTAV en el convenio regional.

6.2.2 Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED-D)

Este proyecto de colaboración entre los países iberoamericanos, organizado con motivo de la conmemoración, en 1992, del V Centenario del Descubrimiento de América, pretendió coordinar esfuerzos "para vencer las inevitables dificultades que surgirán en la historia de estos pueblos" (ICI-CAICT, 1985). La base de este programa fue el establecimiento de mecanismos de cooperación en el campo científico y tecnológico, que comprendan la planificación conjunta y la realización de investigación, así como su evaluación y seguimiento. La cooperación ofrece múltiples ventajas tanto en el plano económico, ya que asegura el máximo beneficio de los recursos invertidos, como en el científico, dado que se plantea la posibilidad de alcanzar objetivos de más alto nivel, así como también en el plano político, ya que se reducen las diferencias internacionales, se precisan los objetivos y tareas de la investigación y desarrollo nacionales y se incorpora a los países pequeños en el proceso científico y tecnológico (ICI-CAICT, 1985).

Este programa tiene un carácter selectivo y se orienta al desarrollo de "temas marco", es decir, de áreas de interés relativamente amplias. Los fondos de la puesta en marcha y coordinación de este Programa provienen de España aunque para la asignación de los recursos se toman en cuenta las subvenciones que los diferentes grupos participantes tienen ya concedidas en sus países para el desarrollo de actividades de investigación.

Entre los temas identificados figura la biotecnología, respecto a la cual se han señalado varios aspectos relacionados con la agricultura y la alimentación. Se plantea la cooperación para investigaciones orientadas a la producción de enzimas de uso industrial, entre las que se incluyen la α -amilasa y la α -galactosidasa. Asimismo, se incluye la investigación sobre iniciadores de fermentación láctica. En el área de biotecnología aplicada a la agricultura se incluye la formación de un banco de germoplasma, ingeniería genética de virus vegetales, cultivos de células, protoplastos, meristemos, tejidos, etc. Finalmente, se plantea la elaboración de proyectos de investigación en el área de fijación biológica del nitrógeno, tanto en el aspecto simbiótico como en el asociativo. Asimismo, en otro de los temas seleccionados se incluye la producción de biomasa acuática y la biotecnología aplicada al mejoramiento de especies vegetales (ICI-CAICT, 1985).

6.2.3 La Comunidad Económica Europea (CEE)

Ésta es otra de las organizaciones que plantea un programa de cooperación en biotecnología con América Latina, basado en la preocupación por el relativo atraso de los países de la CEE en el campo biotecnológico y por la lucha internacional por los mercados. Ese organismo dispone de recursos para colaborar con los países latinoamericanos y se han realizado negociaciones para definir las áreas de cooperación. En 1987 se organizó una reunión en Bruselas, a la que se invitó a un grupo de expertos y empresarios latinoamericanos con el propósito de contar con más elementos para formalizar el convenio de cooperación.

Los países europeos que participan en la Comunidad estaban terminando hacia 1988 la puesta en marcha del Segundo Plan de Biotecnología e iniciaban gestiones para echar a andar un tercer plan para América Latina. El convenio que pretendía establecer la CEE con dicha región es más un convenio de tipo económico que científico-técnico, por lo que la reunión de Bruselas congregó a un grupo de representantes oficiales y de industriales de la región, más que a científicos.

Por lo que se refiere a México, en 1987 se empezó a definir un convenio en el que participarían el CONACYT, organismo interesado en ofrecer financiamiento para ese programa, y la Secretaría de Relaciones Exteriores. Asimismo, durante la reunión de Bruselas, se establecieron contactos directos entre empresarios europeos y empresarios latinoamericanos, los que llevarían probablemente a establecer convenios para la industrialización de procesos biotecnológicos (Quintero, 1987c).

6.2.4 Programa Regional de Biotecnología de la OEA

Este programa se planteaba hacia 1988 los siguientes objetivos: formación de cuadros interdisciplinarios para hacer realidad los programas nacionales de biotecnología en la región; establecimiento de redes de comunicación que permitan el contacto fluido y frecuente a nivel regional e internacional y, fabricación de insumos y de instrumentos básicos para la investigación biotecnológica, que actualmente se importan con gran dificultad (Orrego, 1987).

La OEA pretende contribuir con el establecimiento de grupos de trabajo sobre áreas temáticas orientadas a constituir el programa mencionado. Así, se propone un conjunto de proyectos que

reúnen intereses compartidos por varios países, de los cuales señalamos los que se relacionan con la agricultura y la alimentación: *a*) utilización de residuos lignocelulósicos (México, Guatemala, Chile y Brasil); *b*) utilización alternativa de la caña de azúcar por biotecnologías (Centroamérica y el Caribe); *c*) fijación biológica del nitrógeno (Argentina y Brasil); *d*) rescate y adaptación de fermentaciones tradicionales para el mejoramiento y la conservación de alimentos (Centroamérica).

Como puede observarse, México participa en la primera de estas áreas. Tal como se pudo percibir en el análisis de la capacidad de investigación biotecnológica en México, existen desarrollos importantes en todas estas áreas, aportaciones que, por lo que se refiere al caso de Centroamérica y el Caribe, podrían ser utilizadas en proyectos conjuntos con México. Asimismo, la investigación sobre fijación biológica del nitrógeno es un área en la que México tiene una capacidad que puede ofrecer a la región latinoamericana y que podría incluirse en convenios de colaboración con Argentina y Brasil.

Las orientaciones de los programas regionales en biotecnología son en su mayoría muy generales y no consideran de manera sistemática las capacidades desarrolladas en cada país de la región, base indispensable para formular proyectos específicos y aprovechar los financiamientos disponibles.

6.3 La política biotecnológica en los años noventa

La biotecnología no es considerada de manera explícita en el actual Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, aunque en general se toma en cuenta la importancia del desarrollo de la ciencia y la tecnología tanto para el Acuerdo Nacional de Recuperación Económica con Estabilidad de Precios, así como para el Acuerdo Nacional para el Mejoramiento Productivo del Nivel de Vida. La biotecnología tampoco se incluye de manera explícita en el actual Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica (PCyMT).

Uno de los cambios que llama la atención en los actuales planteamientos de ciencia y tecnología es la omisión de propuestas específicas de política respecto de áreas o problemas socioeconómicos que debe encarar el desarrollo científico-tecnológico. Este aspecto sigue siendo uno de los problemas medulares en la formulación de políticas de ciencia y tecnología en los países desarrollados y uno de los renglones en los que se realizan esfuerzos por diseñar políticas nacionales e inclusive regionales.

Paralelamente a estos cambios tan radicales en la política de ciencia y tecnología en México, se ha dado otro fenómeno importante referido a los montos y al origen del financiamiento para estas actividades. El Banco Mundial, mediante el otorgamiento de créditos al CONACYT, ha sido un factor determinante en el financiamiento a la ciencia y la tecnología durante 1991 y 1992. En junio de 1992 se obtuvo un financiamiento del Banco Mundial de 189 millones de dólares (567 mil millones de pesos), que serían destinados al Programa de Apoyo a la Ciencia en México (PACIME) (150 millones de dólares), y a la creación del Centro Nacional de Metrología y del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (*El Financiero*, 1992). En total, el Banco Mundial ha otorgado créditos por 300 millones de dólares para un lapso de tres años, por partidas promedio de 100 millones de dólares anuales (*El Financiero*, 1992), por lo que 1992 fue considerado como el "Año de la Modernización Tecnológica", aunque hasta ahora no se conocen los logros en esta materia.

No se cuenta con la información del gasto que efectivamente se destinó a la modernización tecnológica, pero sí se cuenta con el que se destinó a la ciencia (cuadros 1 y 2). Para 1991 el PACIME contó con un poyo total de 172 260 millones de pesos y para 1992 con un apoyo total para todos sus programas de 276 347 millones de pesos.

CUADRO 6.1

GASTO TOTAL DE CONACYT EN INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA 1991

<i>Programas</i>	<i>Monto (Millones de pesos)</i>	<i>%</i>
Proyectos de investigación	25 484	14.8
Fondo para el fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica	48 356	28.1
Fondo para la creación de cátedras patrimoniales de excelencia	2 541	1.5
Fondo para retener en México y repatriar a los investigadores mexicanos	3 983	2.3
Apoyos puntuales	3 490	2.0
Apoyos al postgrado	8 210	4.8
Becas de postgrado	80 196	46.5
TOTAL	172 260	100.0

FUENTE: Asignación de recursos a la ciencia, 1991, CONACYT.

CUADRO 6.2
GASTO TOTAL DE CONACYT EN INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA 1991

<i>Programas</i>	<i>Monto (Millones de pesos)</i>	<i>%</i>
Proyectos de investigación	63 169	23
Fondo para el fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica	90 943	33
Fondo para la creación de cátedras patrimoniales de excelencia	9 144	3
Fondo para retener en México y repatriar a los investigadores mexicanos	13 447	5
Apoyos puntuales	5 558	2
Apoyos al postgrado	5 817	2
Becas de postgrado	88 269	32
TOTAL	276 347	100

FUENTE: Asignación de recursos a la ciencia, 1991, CONACYT.

Uno de los programas que ha logrado mayor consolidación por lo que se refiere a la modernización tecnológica, es el de creación de incubadoras de empresas con base tecnológica, que ya han sido instaladas en Ensenada y Querétaro. El CONACYT anunció recientemente la creación de seis incubadoras más en el país, una de las cuales estará en el estado de Yucatán.

En junio de 1992 entró en vigor un nuevo mecanismo de fomento al desarrollo tecnológico bajo la forma del Comité Nacional de Concertación para la Modernización Tecnológica, integrado por representantes de diversas secretarías de Estado, presidentes de numerosos bancos, directores de importantes empresas y rectores y directores de centros de educación superior públicos y privados. El propósito, según lo afirmó el director del CONACYT, es contar con un foro plural y dinámico que permita el diseño de esquemas concertados y prácticos de colaboración entre los diversos actores involucrados en la modernización tecnológica de la planta productiva nacional (Alzati, 1992:8). La modernización de la industria tecnológica, afirma Alzati, involucra procesos simultáneos y masivos de absorción, adaptación y difusión de tecnologías que van mucho más allá de la tradicional concepción

que sólo hacía énfasis en la innovación y generación de "tecnologías propias... No importa de dónde provengan esas tecnologías y de qué manera logremos hacerlas nuestras. El único lujo que no podemos darnos es el de no tenerlas" (Alzati, 1992:9).

La información hasta ahora sistematizada permite tener un panorama de la concepción y las orientaciones de la política de ciencia y tecnología. En el primer caso, el objetivo central es la formación de recursos humanos, tal como lo demuestran los porcentajes invertidos en este renglón. No se cuenta con los datos de las áreas en las que estos recursos están siendo formados, pero según declaraciones del director del CONACYT, dado lo pequeño de la comunidad científica, se requiere formar recursos en todas las áreas, así como estimular y fomentar la investigación en todas ellas, siempre que se fundamente en la excelencia (*El Financiero*, 1992:40).

Por lo que respecta a la modernización tecnológica, a pesar de los logros interesantes que se han mencionado en los párrafos anteriores, se observa una gran indefinición sobre los campos o sectores de competencia para el país. No se conoce el grado de competitividad empresarial, ni tampoco los objetivos económicos que se buscan con la modernización tecnológica.

Además del CONACYT, en la administración actual existen otros organismos e instituciones que promueven o asesoran al gobierno en materia de desarrollo biotecnológico. El Consejo Consultivo de Ciencias, cuerpo conformado por prestigiados científicos y que tiene como función asesorar al ejecutivo en cuestiones científicas, ha planteado algunas propuestas para el desarrollo de ese campo. En 1990 elaboró una propuesta sobre biotecnología en la que se planteaba una estrategia orientada a dos propósitos: *a*) establecer proyectos de interés nacional de carácter multidisciplinario e interinstitucional en los que participen grupos de investigadores de diversas entidades nacionales, avocados a aportar soluciones a las demandas de bienestar social en salud, alimentación y medio ambiente, y *b*) impulsar proyectos de desarrollo o innovación tecnológica realizados en centros e instituciones de investigación y que sean viables desde el punto de vista técnico y económico (CCC, 1990:3). Esta propuesta incluía recomendaciones para apoyar desarrollos biotecnológicos de distinto nivel de complejidad, y estaba sustentada en una combinación de biotecnologías de segunda y de tercera generación, incluyendo campos tales como la biotecnología vegetal, la producción de agroquímicos e inoculantes, el trasplante de embriones y la fecundación *in vitro*,

el control biológico, la biología molecular y celular, el diagnóstico y elaboración de vacunas, el tratamiento de efluentes y la reforestación de bosques. En concreto se proponían 15 proyectos de investigación, que serían financiados por el gobierno federal, los gobiernos estatales, fondos internacionales y el sector privado y evaluados en la fase tecnológica por el Programa de Desarrollo Tecnológico de NAFIN.

Esta propuesta fue anterior a la definición de los mecanismos de política para la modernización tecnológica elaborados por el CONACYT. De los datos que se han recabado sobre estos programas, no parece que se haya considerado su apoyo.

Más recientemente fue elaborado un nuevo estudio por el CCC, en este caso sobre ecología, en el que se considera de manera implícita la importancia de la biotecnología por lo que se refiere al tratamiento de aguas residuales y otros desechos. Sin embargo, el trabajo mencionado es un primer diagnóstico muy general y no propone una estrategia detallada de investigación para el medio ambiente (CCC, 1991).

Otra de las instituciones que ha participado en la definición de orientaciones de política para la biotecnología, desde los inicios del actual sexenio, es la Secretaría de Relaciones Exteriores, que junto con el PNUD y la UNAM, a través del Instituto de Biotecnología, realiza un estudio con objeto de dar prioridad a las áreas estratégicas en la cooperación internacional para México en biotecnología moderna. Este proyecto comenzó en mayo de 1991 y fue precedido por un esfuerzo del mismo tipo realizado por otro grupo de consultores, quienes elaboraron un estudio que duró un año, al final del cual propusieron una cartera de proyectos prioritarios de desarrollo biotecnológico en el área agroalimentaria.

Es interesante hacer referencia a las modalidades y avances del programa anterior, ya que fue realizado en la actual administración. En esa oportunidad la SRE fungió como promotora del programa, denominado en ese entonces Programa Nacional de Cooperación Técnica en Biotecnología (PRONACIB). El CONACYT representaba al organismo ejecutor, el PNUD el organismo patrocinador, el organismo operativo estuvo representado por el Instituto para la Planeación del Desarrollo, y se contó con la participación de agrupaciones de diferentes sectores: CONCANIB, CANACINTRA, CTM, CNC, UNORCA, OGOCEP y el sector biotecnológico nacional (PRONACIB, 1991). El estudio consistió en la aplicación de una metodología para conciliar las necesidades tecnológicas de los agentes productivos, definiéndola como demanda biotecnoló-

gica, con la capacidad biotecnológica actual y el potencial del aparato científico-tecnológico del país. Se trató de un esfuerzo por considerar los problemas e intereses comunes de diferentes actores sociales y sus requerimientos tecnológicos relacionados con la biotecnología.

El resultado del estudio fue la definición de una cartera de 72 proyectos biotecnológicos susceptibles de recibir apoyo de cooperación técnica internacional, bajo un esquema que hacía énfasis en el desarrollo de un proceso sistemático de innovaciones biotecnológicas hacia el sector productivo. Los proyectos identificados se distribuyen por sectores de la siguiente forma: 24 tenían relación con el sector agrícola, 24 eran industriales, 13 se relacionaban con el sector servicios, 3 con el área de salud y 3 con el medio ambiente. Estos proyectos se sustentarían en diversos campos biotecnológicos tales como el cultivo de tejidos (5), las fermentaciones (27), la ingeniería genética (6), los anticuerpos (6), y la ingeniería de cromosomas (2) (PRONACIB, 1991). Los proyectos se agruparon por las características de sus efectos, considerándose tres elementos: incidencia en cadenas productivas de amplio impacto social, proyectos con incidencia en cadenas de impacto económico y proyectos que inciden en la generación de divisas (PRONACIB, 1991: XII y XIII).

El segundo estudio que se inició en mayo de 1991, y cuyo documento final fue entregado en abril de 1992, se propuso definir las áreas prioritarias en la biotecnología moderna para la cooperación técnica internacional en los sectores agropecuario, del tratamiento de la contaminación ambiental, industrial y salud. El estudio fue elaborado básicamente por biotecnólogos pertenecientes al Instituto de Biotecnología de la UNAM y dos expertos externos a éste. La metodología del estudio consistió en lo siguiente: *a*) definir el estado del arte de la aplicación de la biotecnología a nivel mundial, en cada uno de los sectores estudiados; *b*) diagnóstico de la situación nacional, destacando la existencia de grupos de trabajo; *c*) definición de estrategias para la priorización y selección, y *d*) definición de oportunidades de cooperación técnica internacional en líneas y proyectos de investigación prioritarios.

El estudio está basado en la consideración de opiniones y reuniones con expertos en biotecnología. Las recomendaciones se centran en la forma de abordar diversos temas de investigación en las áreas seleccionadas, desde la perspectiva de la nueva biotecnología, y en una consideración bastante rígida de los principales grupos de investigación en cada campo en México, evaluación que

se corresponde con los criterios de excelencia académica que se aplican actualmente en el país.

Es interesante comparar los tres estudios recientes para apoyar una política biotecnológica. Se observa que predominan las opiniones de los biotecnólogos por sobre las de otros expertos. El último caso es el más característico al respecto. Se observa también que no existe coincidencia en el enfoque que debe darse al desarrollo biotecnológico, ya que mientras los dos primeros estudios proponen proyectos relacionados con diferentes niveles, el tercero se centra exclusivamente en la consideración de la nueva biotecnología, la de que la carencia de recursos humanos es importante. También cabe comentar que el enfoque que considera la problemática de diversos actores, con el propósito de concertar acciones entre demanda y oferta, es un ejercicio bastante complejo pero deseable por lo que se refiere a la formulación de políticas. El otro enfoque, basado en opiniones y evaluaciones científicas, ya ha demostrado sus grandes limitaciones.

El estudio que elaboró la primera propuesta para la cooperación técnica no fue aceptado, lo que resulta bastante sorprendente, después de la inversión y el tiempo que implicó y del nivel de especificidad de los proyectos propuestos. Sin embargo, se puede argumentar que la decisión de abandonar este estudio y de realizar uno nuevo se debió a diferencias en los resultados esperados, ya que una de las críticas que recibió se refiere a que estaba muy orientado al sector agropecuario. A esto habría que agregar las diferencias de concepciones prevalecientes entre los diferentes grupos de biotecnólogos cercanos a la toma de decisiones, respecto de lo que debe ser la biotecnología en México. Así, se ha identificado a quienes proponen un desarrollo biotecnológico que fomenta exclusivamente las investigaciones en el campo de las nuevas tecnologías, es decir, que genere una capacidad en biología molecular e ingeniería genética. Por otro lado están los que proponen un desarrollo biotecnológico sustentado en tecnologías de segunda y de tercera generaciones, acorde con demandas socioeconómicas nacionales. Todo parece indicar que fue esta diferencia de posiciones la que originó que la SRE y el PNUD financiaran un nuevo estudio para establecer las prioridades de cooperación técnica en biotecnología. Además, cabe resaltar que, comparando los resultados de los dos estudios, es notoria la diferencia en cuanto a las instituciones y centros de investigación que se proponen para participar. En el primer caso predominan el CINVESTAV-DF, el CINVESTAV-Irapuato y diversas instituciones es-

tatales, y en el segundo caso el Instituto de Biotecnología y centros pertenecientes a la UNAM.

La realización de estudios tendentes a establecer prioridades en biotecnología se ha convertido en México en una práctica muy frecuente y en un área muy especializada, aunque no se ha podido definir una estrategia en este renglón. Es también importante comentar que mientras la política gubernamental de ciencia y tecnología se basa en criterios de excelencia y alta calidad de los proyectos para apoyar las actividades, sin importar la definición de áreas prioritarias, otros esfuerzos de política como los mencionados persiguen la definición de prioridades, lo que pone de manifiesto la falta de acuerdo en los criterios para la definición de políticas. Este tema es muy debatido hoy en día, encontrándose posiciones contrarias entre los actores que participan en la toma de decisiones en esta materia.

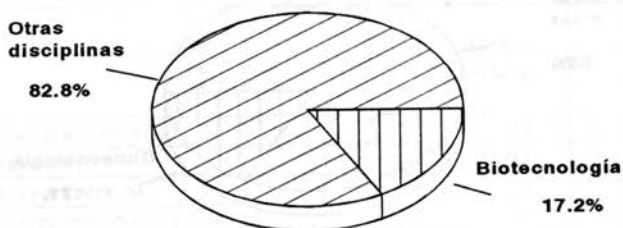
Pasando al plano de lo que efectivamente está ocurriendo en el rumbo de la biotecnología en México y con base en algunos indicadores recientemente dados a conocer por el CONACYT, se observa el siguiente panorama.

Los financiamientos para el desarrollo de la ciencia en México han aumentado considerablemente entre 1991 y 1992. De éstos, un porcentaje de 46% en 1991 y 32% en 1992 ha sido destinado a la formación de recursos humanos en todas las áreas de la ciencia, básicamente en forma de becas de postgrado que han favorecido los estudios en el país. Después de este renglón, los apoyos a proyectos de investigación y a infraestructura son los rubros más representativos, que juntos representan más del 60% de los apoyos otorgados por el Programa de Apoyo a la Ciencia en México (PACIME).

Para el caso de la biotecnología, los apoyos otorgados para proyectos de investigación en 1991 representaron un 17.2% del total y en 1992 un 12.2%. Para el fortalecimiento de la infraestructura biotecnológica se canalizó un 17% del total de los apoyos en 1991 y un 6% en 1992, (gráficas 1, 2, 3 y 4).

Cabe destacar que del total de instituciones y centros de investigación apoyados en 1991 y 1992, 23 proyectos fueron apoyados para el CINVESTAV (DF e Irapuato) y 22 para la UNAM, y el resto se distribuye en 24 instituciones, entre las que destacan 19 universidades de los estados (cuadro 3). Es importante hacer notar que con respecto a los apoyos que otorgaba el CONACYT a mediados de los años ochenta para biotecnología, el número de instituciones se ha reducido y los apoyos se han concentrado en un

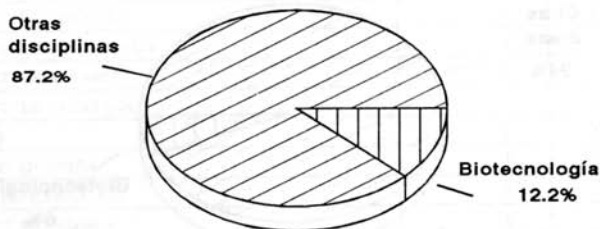
GRÁFICA 6.1
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
FINANCIADOS POR CONACYT. 1991



PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	o/o
Biotecnología	46	4 382 364	17.2
Otras disciplinas	276	21 101 337	82.8
Total	322	25 483 701	100.0

FUENTE: Asignación de recursos a la ciencia, 1991, CONACYT.

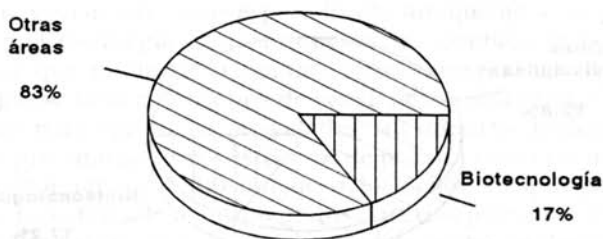
GRÁFICA 6.2
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA FINANCIADOS
POR CONACYT. 1992



PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	o/o
Biotecnología	46	7 711 922	12.2
Otras disciplinas	502	55 458 275	87.8
Total	548	63 170 197	100.0

FUENTE: Asignación de recursos a la ciencia, 1991, CONACYT.

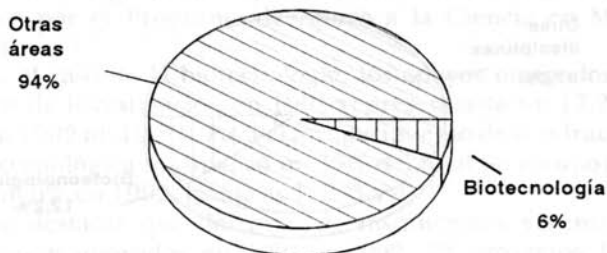
GRÁFICA 6.3
FORTALECIMIENTO A LA INFRAESTRUCTURA
EN BIOTECNOLOGÍA POR CONACYT. 1991



PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	0/0
Biotecnología	UNAM-IBM CINVESTAV-IPN UNAM-FAC. QUÍMICA	13 894	17
Otras disciplinas	35	67 879	83
Total	38	81 773	100

FUENTE: Asignación de recursos a la ciencia, 1991, CONACYT.

GRÁFICA 6.4
FORTALECIMIENTO A LA INFRAESTRUCTURA
EN BIOTECNOLOGÍA POR CONACYT. 1991



PROYECTOS	CANTIDAD	MONTO (Miles de pesos)	0/0
Biotecnología	8	6 638	6
Otras disciplinas	76	107 424	94
Total	84	114 062	100

FUENTE: Asignación de recursos a la ciencia, 1991, CONACYT.

CUADRO 6.3
 INSTITUCIONES APOYADAS EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN
 BIOTECNOLOGÍA 1991-1992

<i>Institución</i>	<i>Solicitudes aprobadas</i>	<i>Monto (Miles de pesos)</i>
CINVESTAV-IPN-IRAPUATO	12	1 169 500
CINVESTAV-IPN	11	1 494 842
CINVESTAV-IPN-MÉRIDA	1	91 745
UNAM-INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA	12	2 052 878
CICY	5	977 636
INST. DE SALUD PÚBLICA	5	817 434
COLEGIO DE POSGRADUADOS	5	496 000
UNAM-INST. INV. BIOMÉDICAS	4	327 680
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA	4	278 345
UNAM-CIFN	3	1 145 800
UNAM- INST. DE FISIOLÓGÍA	3	792 560
CELULAR	3	244 600
INST. NAL. DE LA NUTRICIÓN	2	267 926
UNIV. AUT. DE COAHUILA	2	256 000
UNIV. MICH. SN. NICOLÁS HIDALGO	2	244 588
UNIV. DE GUANAJUATO	2	208 973
UNIV. AUT. DE NUEVO LEÓN	2	106 202
UNIV. AUT. DE BAJA CALIFORNIA	2	77 250
UNIV. AUT. DE YUCATÁN	1	125 000
UNIV. AUT. DE CHIHUAHUA	1	121 667
UNIV. AUT. DE NAVARIT	1	120 560
UNIV. AUT. DE ZACATECAS	1	118 500
IPN-UPIBI	1	112 488
UNAM-FAC. QUÍMICA	1	108 370
INST. DE ECOLOGÍA, A.C.	1	89 000
UNIV. AUT. DE PUEBLA	1	60 038
CENTRO DE INV. BIOLÓGICAS	1	60 000
UNIV. AUT. DE TAMAULIPAS	1	55 767
UNIV. IBEROAMERICANA	1	39 000
UNIV. JUÁREZ EDO. DE DURANGO	1	35 937
TOTAL	92	12 094 286

FUENTE: Asignación de recursos a la ciencia, 1991-1992, CONACYT.

número más limitado de ellas. Esto es perfectamente congruente con una política de apoyos que favorece exclusivamente los proyectos de calidad, dejando fuera a muchas instituciones que tal vez necesiten dichos apoyos para elevarla. Este es un aspecto de la política de ciencia y tecnología actual, que suscitará gran discusión en el futuro.

Si analizamos los apoyos a proyectos de investigación por disciplina, es notorio que en 1991, de 275 proyectos apoyados, 29 eran de ingeniería genética y biología molecular, dato que no podemos comparar con 1992, ya que la clasificación de disciplinas empleada no fue la misma. Sin embargo, cabe destacar que para 1992, una de las disciplinas que concentró los mayores apoyos fue la biología (138, de un total de 540 proyectos apoyados), área en la que muy probablemente se incluya a la nueva biotecnología.

De los datos anteriores podemos concluir que en la práctica sí existe una política que da prioridad al desarrollo de proyectos de investigación de la nueva biotecnología, ya que de la revisión de las listas de proyectos en esta área se observa que una gran mayoría se relaciona con la ingeniería genética y la biología molecular. Se percibe también que se trata de investigaciones de ciencia básica que tienden a fortalecer las investigaciones de frontera.

Al comparar las orientaciones de la nueva política con las orientaciones de la política aplicada en el sexenio anterior, surgen diversas interrogantes respecto del futuro de una capacidad de investigación generada en México que podríamos ubicar en el nivel de segunda generación y como orientada a la solución de problemas regionales y sociales. No se observa un apoyo a este tipo de investigación. Tampoco parece posible que estas investigaciones puedan tener el apoyo del Programa de Modernización Tecnológica, que se da a proyectos que garanticen su aplicación industrial. En trabajos anteriores (Casas, 1990) hemos argumentado sobre la importancia de muchas de esas investigaciones y sobre la necesidad de invertir esfuerzos para resolver problemas técnicos o para asegurar la rentabilidad económica de procesos que resultan social y económicamente relevantes. Sin embargo, parece que con los actuales criterios de política esas capacidades tienden a desaparecer, con lo que se perderán inversiones que llevaron muchos años.

Al observar los cambios que se han producido en los últimos años en algunos centros de investigación, un ejemplo de los cuales es el actual Instituto de Biotecnología, se percibe una tendencia a concentrar la biotecnología en un número muy reducido de insti-

tuciones. En 1987, este Instituto se orientaba fundamentalmente a la biología molecular en relación con el sector salud y tenía una sección llamada biotecnología, que era relativamente pequeña y que tenía diversas orientaciones hacia la industria. Actualmente, el Instituto se define como generador de tecnología biológica competitiva, orientada a la solución de problemas en las áreas de salud, agropecuaria, industrial y de tratamiento de la contaminación ambiental (IB, 1991), y ya cuenta con un nuevo departamento de biología molecular de plantas, conformado por seis líderes académicos y seis grupos de trabajo.

El caso del Instituto de Biotecnología, de gran prestigio y cuyos investigadores son reconocidos internacionalmente, es interesante en el plano de la política de ciencia y tecnología. Se continúa con la concepción de que cada instituto o centro debe cubrir la totalidad de las áreas, enfoque cuyas limitaciones ya se han mencionado varias veces. ¿Por qué no definir una política que fortalezca la consolidación de centros biotecnológicos especializados en determinados problemas, y generar una capacidad humana y de infraestructura relevante que permita competir a nivel internacional? ¿Cuál será la suerte de otros centros de investigación que trabajan en biotecnología de plantas, tales como el CINVESTAV-Irapuato, creado desde el inicio con una orientación definida hacia esa área y cuyos esfuerzos se han dirigido a la formación de recursos en este renglón? Estas preguntas son de gran importancia, dada la tendencia actual de la política de ciencia y tecnología, que en la práctica sí da prioridad a determinadas áreas e instituciones.

En cuanto a la política de desarrollo tecnológico y sus repercusiones sobre la biotecnología, es poco lo que hasta ahora se puede decir. De los apoyos hasta ahora dados a conocer por el CONACYT, el único relacionado con la biotecnología es el apoyo de FIDETEC al Grupo Bioquímico Mexicano para el mejoramiento del proceso de obtención de ácido giberélico (*El Financiero*, 1992:36). Se trata de un proceso muy viejo, que desde hace mucho se industrializa en México, basado en tecnologías de fermentación y que será optimizado a través de este financiamiento.

La política de desarrollo tecnológico y su vinculación con el sector productivo, es detallada y aplicada de manera específica en cada centro de educación superior. Dada esta situación, no se cuenta con la información suficiente sobre las características de las transferencias de tecnología a las empresas, y sobre los éxitos obtenidos. No obstante, podemos esbozar algunos comentarios basados en diversos datos recabados hasta ahora.

Existe una tendencia cada vez mayor a que los centros e institutos de investigación establezcan relaciones con empresas con muy diversos propósitos, entre los que destacan: apoyos a la formación de recursos humanos, entrenamientos cortos en la industria, financiamientos a las investigaciones y demandas específicas para la solución de problemas tecnológicos.

El campo de la biotecnología es especialmente interesante en cuanto al problema de la vinculación y se observa que los institutos y centros de mayor nivel tienden a estrechar sus lazos con la industria, principalmente privada, mediante convenios de colaboración, que representan ingresos muy importantes para complementar sus presupuestos para investigación. También se observa una tendencia a que esas colaboraciones culminen en la comercialización de un proceso o de un producto. Cabe mencionar que la apertura comercial que ya experimenta México, está teniendo repercusiones importantes en la colaboración de centros de investigación públicos con empresas extranjeras y en algunos casos transnacionales. Estas experiencias de colaboración provocan cambios importantes en las estructuras de los centros de educación superior, y se tiende al establecimiento de laboratorios extranjeros dentro de centros e institutos, que aprovechan la infraestructura instalada y las capacidades humanas a cambio de recursos económicos para el centro de investigación. Si bien estas experiencias son incipientes en el país, están presentes en los centros de investigación biotecnológicos y ya es frecuente el comentario entre algunos biotecnólogos respecto a que, sin excepción, los centros e institutos que realmente son de excelencia en biotecnología se caracterizan por tener colaboraciones con empresas transnacionales.

Este fenómeno, que se produce sin haberse firmado el acuerdo trilateral de libre comercio, suscita interrogantes sobre el futuro de la capacidad científica y tecnológica que se ha generado en las instituciones de educación superior, y el papel que jugará el apoyo a la tecnología transnacional. Esta observación se contradice con los argumentos oficiales que sostienen que la importancia del desarrollo de la ciencia en los centros de educación superior, debe residir en su contribución a la formación de recursos humanos y nuevos cuadros para la investigación. La complejidad actual a la que se está enfrentando el desarrollo científico y tecnológico en las universidades, y las transformaciones que está ocasionando, deben ser analizadas a la luz de las nuevas tecnologías, dentro de las cuales la biotecnología juega un papel muy importante.

6.4 Espacios políticos para el desarrollo de la biotecnología

Los elementos expuestos en este capítulo dan una idea de lo heterogéneo de las medidas de apoyo a la biotecnología. Los recursos canalizados a nivel nacional han sido casi siempre escasos y con una fuerte competencia por obtenerlos. Se manifiesta una fuerte lucha por el poder en la toma de decisiones en biotecnología, que se expresa en las acciones que emprenden diferentes instancias gubernamentales y diferentes actores sociales y políticos.

La experiencia de los últimos años en política biotecnológica no ha sido muy positiva, a pesar de que sí se ha fortalecido la formación de recursos humanos y algunos grupos de investigación. Pero aún se está muy lejos de coordinar y concertar programas institucionales de investigación y de canalizar los procesos ya desarrollados a sus aplicaciones industriales. Éstos siguen siendo los grandes retos de la política de ciencia y tecnología en el país, de los que son conscientes los mismos funcionarios del CONACYT.

En el momento político actual, previo a la puesta en marcha de un acuerdo trilateral de libre comercio, la definición de políticas para el desarrollo científico y tecnológico es de gran importancia y tendrá un impacto definitivo sobre la suerte que corran los desarrollos biotecnológicos en el país.

La puesta en práctica de mecanismos para impulsar y coordinar acciones en el campo de la biotecnología, se ha convertido en un terreno de luchas políticas entre grupos de científicos y funcionarios públicos, que buscan conseguir el control y monopolio de los apoyos y financiamientos a este campo de investigación, así como protagonizar los cambios en las relaciones con el sector productivo. La lucha por el poder en la biotecnología, es decir, por definir las áreas que deben ser promovidas, los niveles tecnológicos que resultan relevantes para nuestra realidad nacional, así como para determinar cuáles son las instituciones de excelencia, son asuntos que influyen en el ritmo de avance de este campo de investigación.

La actual concepción de la política de ciencia y tecnología en el país, exenta de prioridades temáticas, y atenta a fortalecer las investigaciones de calidad, deja sin sustento a un área de investigación de carácter primordialmente aplicativo y cuyas orientaciones podrían afectar positivamente diversos sectores económicos con repercusiones sociales importantes. Esta política va en contra de la consolidación de grupos de investigación, que aunque incipientes, han invertido esfuerzos humanos y económicos en el

desarrollo de campos de investigación determinados por problemáticas socioeconómicas nacionales.

En el plano nacional se cuenta con un conjunto de mecanismos de política dispersos en diferentes entidades gubernamentales, que podrían sincronizarse para lograr un desarrollo integrado y relevante en términos sociales de este campo de investigación.

La existencia de diversos organismos internacionales interesados en financiar la investigación biotecnológica plantea una nueva alternativa para los investigadores. Sin embargo, las gestiones para esos apoyos institucionales resultan poco conocidas por muchos de ellos y se tiende a una monopolización de los recursos por un grupo pequeño de instituciones y personas. El acceso a la información se da por contactos personales muy específicos, lo que limita a las instituciones e investigadores que no participan de ellos.

La forma en que se realizan actualmente los contactos y mecanismos de cooperación con la esfera internacional, así como las gestiones que realiza el gobierno para obtener fondos que permitan financiar la creación de nuevos centros de investigación en el país, son elementos que hacen cada vez más heterogénea la política biotecnológica en el país y más susceptible de orientarla hacia muy diversos objetivos. Lo anterior debería ser objeto de reflexión, ya que los resultados podrían ser altamente perjudiciales, al convertirse el país en financiador de mano de obra altamente especializada y dirigir el desarrollo de la investigación hacia aspectos no necesariamente prioritarios.

Las acciones para coordinar el desarrollo de la biotecnología y para definir programas prioritarios de investigación no deben quedar exclusivamente en la esfera gubernamental. Tal como se ha visto a través de este estudio de caso, las universidades, institutos y centros de educación superior juegan actualmente el papel prioritario en el desarrollo de la biotecnología. Por lo anterior, dichas instituciones deberían participar en la definición de una política coordinada para este campo de investigación y para las aplicaciones derivadas de éste.

En dicha política deberían quedar plasmadas las acciones que se requieren para incrementar los recursos humanos necesarios para la investigación, las medidas que permitan establecer programas interinstitucionales de investigación y la definición de proyectos nacionales en este campo. Esto permitiría avanzar más rápidamente en la solución de los problemas científicos y técnicos aún presentes en muchas de las áreas que se investigan en el país.

Otro de los aspectos a considerar en la formulación de una política biotecnológica es el de los mecanismos de vinculación entre los centros de investigación y el sector productivo. La definición de estas políticas de vinculación con el sector productivo, en el caso de la biotecnología, implica la adopción de políticas que vayan más allá del plano nacional. Se requiere coordinar acciones regionales para el establecimiento de empresas biotecnológicas, aprovechando los apoyos que están siendo canalizados a través de diversas organizaciones internacionales.

Si México pretende avanzar en el desarrollo de esta área tecnológica de punta, se hace indispensable emplear los espacios políticos y mecanismos de política ya existentes y definir en forma explícita la estrategia que deberá adoptar el desarrollo biotecnológico nacional y sus vinculaciones con los países de la región latinoamericana, así como diseñar una estrategia preventiva ante los desarrollos biotecnológicos internacionales y los efectos que ya están teniendo, particularmente sobre la agricultura y el medio ambiente.

CAPÍTULO 7

RELEVANCIA DE LA BIOTECNOLOGÍA PARA EL SECTOR AGROALIMENTARIO

Introducción

En contraste con la revolución verde que orientó la investigación hacia una agricultura basada en tierras con buen clima y sistemas de irrigación, la biotecnología promete extenderse a la agricultura de casi todas las condiciones climáticas y geográficas. En principio, la biotecnología es apropiada para todo tipo de agricultura, y la aplicación podría implicar menos dependencia en los insumos agrícolas en general, ya que las variedades mejoradas a través de técnicas de ingeniería genética podrían dar respuesta a las diversas condiciones climáticas a través de ellas mismas.

Sin embargo, las tendencias de la biotecnología en el mundo desarrollado no necesariamente corresponden a esas prometedoras orientaciones. Los países desarrollados buscan sustituir los cultivos de importación por otros cultivos, o por procesos que ni siquiera estén basados en materias primas agrícolas. En este contexto México debe desarrollar líneas de investigación que no impliquen la sustitución de productos agrícolas, sino por el contrario nuevos usos de ellos, dadas las inevitables reducciones de estas exportaciones al mundo desarrollado. Esto implica la definición de una estrategia biotecnológica basada tanto en la consideración de los problemas del sector agroalimentario, como en la base de la investigación biotecnológica que prevalece en México.

El principal objetivo de esta investigación ha sido describir y analizar la naturaleza de la investigación biotecnológica que se desarrolla en el país en el área agroalimentaria. Debido a que existen muy limitados esfuerzos en el sector privado, se analizaron

principalmente las actividades de investigación que se desarrollaban en el sector educativo y gubernamental. Las características y especificidades de estas investigaciones han sido discutidas en los cuatro capítulos precedentes, por lo que el propósito del presente capítulo es destacar las principales conclusiones derivadas de los capítulos anteriores, hacer referencia a las tendencias generales observadas a través de este estudio de caso y plantear los efectos socioeconómicos previsibles si los resultados de las investigaciones desarrolladas en México fuesen aplicados.

En la primera sección de este capítulo se sintetizan las principales conclusiones derivadas del análisis empírico, en las que se subrayan las características institucionales de la investigación biotecnológica, y se comparan con las que prevalecen en el mundo desarrollado. En la segunda y tercera secciones se exponen las orientaciones generales de la biotecnología vegetal y agroindustrial, que son presentadas de manera separada ya que muestran tendencias diferentes.

En la cuarta sección se discuten los efectos socioeconómicos potenciales que pueden esperarse de la actual capacidad de investigación biotecnológica. En la discusión relacionada con estos efectos se hace referencia a los problemas y necesidades específicos prevalecientes en el sector, que fueron identificados al inicio de este libro, y se discuten los aportes potenciales que ofrece la investigación biotecnológica para superar dichos problemas.

En la quinta sección, se sintetizan las limitaciones que confronta esta área de investigación, para generar un desarrollo biotecnológico acorde con las necesidades del país. Finalmente, se plantean las perspectivas políticas existentes para sustentar un desarrollo biotecnológico determinado por las necesidades y prioridades relevantes para el país. A partir de aquí se sugieren algunas propuestas derivadas de este estudio, con objeto de superar las limitaciones existentes y de formular una estrategia biotecnológica que permita mejorar la situación que experimenta la agricultura y la alimentación.

7.1 Principales características institucionales de la investigación biotecnológica

En términos generales puede afirmarse que la investigación biotecnológica en las áreas agrícola y agroindustrial es bastante incipiente. Los recursos humanos que se dedican a esta área de

investigación están distribuidos en numerosas instituciones. Sin embargo, estas unidades de investigación tienen un número muy reducido de investigadores que va en promedio de dos a cinco, incluyendo tanto investigadores titulares como asociados. Es decir, los equipos de investigación son pequeños y no cuentan con la infraestructura necesaria.

La investigación biotecnológica relacionada con el sector agroalimentario se ha desarrollado predominantemente en centros públicos de educación superior. La evidencia empírica incluida en los capítulos 3 y 4 indica que la iniciativa privada participa marginalmente en estas actividades y no invierte en esta área de investigación. Esta situación marca una gran diferencia con lo que ocurre en los países desarrollados, en donde tanto el sector público como el privado participan en el financiamiento y desarrollo de la capacidad de investigación biotecnológica.

Esta situación hace necesario resaltar la importancia de considerar la investigación universitaria cuando se pretende definir una política biotecnológica para México. Esto se debe a que las universidades constituyen la esfera en la cual se está generando la investigación biotecnológica, hecho que puede extenderse también a otros campos de investigación, tal como se señaló en el primer capítulo de este libro.

El sistema de investigación agrícola en el país está conformado por instituciones de carácter público y el Estado sigue siendo el responsable de este campo de investigación. A diferencia de lo que ocurre en Estados Unidos, donde las universidades públicas han perdido el dominio de la investigación agrícola, que está ahora en manos de universidades privadas, en México aún persiste un patrón basado en instituciones públicas, factor que podría ser favorable al desarrollo de una política biotecnológica orientada a las necesidades nacionales. Sin embargo, como se ha demostrado en los capítulos precedentes, los centros de investigación agrícola desarrollan investigación biotecnológica en forma muy colateral. Este campo de investigación se está desarrollando principalmente en instituciones de investigación dedicadas a otras áreas de la ciencia y la tecnología, y no precisamente en instituciones de investigación agrícola.

A pesar de que la biotecnología es un campo de investigación interdisciplinario, es claro que la mayor parte de las instituciones de investigación en México no han adoptado ese enfoque. Éstas se centran principalmente en uno o dos de los subcampos de la biotecnología. Existe, sin embargo, alguna evidencia de que los

biotecnólogos y algunos de los que toman las decisiones están conscientes de este problema, por lo que se están adoptando nuevas formas de organización de la investigación tendentes a la interdisciplina.

No existe una política nacional coordinada para el desarrollo de este campo de investigación, para promover su desarrollo industrial, para integrarla en los planes de desarrollo socioeconómico, hecho que fue discutido en el capítulo 6. Sin embargo, a diferencia de otras áreas de investigación en México, que se caracterizan generalmente por la falta de vínculos entre las universidades y la industria, en el caso de la biotecnología se observan frecuentes y crecientes contactos con la industria a través de convenios de colaboración. Estos convenios, como ya se ha mencionado en el capítulo 6, no garantizan la transferencia e industrialización del proceso o producto.

El origen de esta tendencia creciente de la vinculación entre la investigación biotecnológica y la industria, se encuentra en diversos factores. En primer lugar, en el carácter inherentemente aplicativo de esta área de investigación; en segundo lugar, en el establecimiento de mecanismos de vinculación con la industria en los centros de educación superior; en tercer lugar, en la búsqueda por parte de los investigadores de financiamientos complementarios a los bajos presupuestos que les otorgan las universidades y, finalmente, en las políticas estatales que permiten exenciones de impuestos a las empresas que aporten financiamientos a la investigación.

De ahí que los factores que originaron en la década de los ochenta un incremento en la vinculación con la industria fueron circunstanciales, y no es sino hasta principios de la década de los noventa que el Estado plantea una política deliberada para lograr ese propósito, mediante la puesta en vigor de numerosos mecanismos de estímulo para lograr el éxito en esa relación.

Del estudio sobre la investigación biotecnológica en México se desprende que existe un creciente interés de los investigadores por convertirse en empresarios y abandonar la investigación, ya sea por medio de la formación de empresas o mediante la asociación con empresas ya existentes. Este fenómeno, aunque incipiente, vendría a reproducir en una dimensión diferente el patrón que se observó en Estados Unidos, en donde se produjo la formación de pequeñas empresas constituidas inicialmente por investigadores.

Para el caso mexicano, ese fenómeno se percibe especialmente en el campo del cultivo de tejidos vegetales, aunque también existen ciertas manifestaciones en campos relacionados con las fermentaciones. A pesar de que la constitución de estas pequeñas

empresas es un fenómeno en gestación, es considerado por un creciente número de investigadores que quisieran ver sus procesos aplicados a nivel industrial y, asimismo, ver resueltas sus preocupaciones económicas personales.

Puede decirse que, en general, el avance de la biotecnología en los países desarrollados ha estado determinado primordialmente por su importancia comercial y no tanto por su relevancia social, tendencia que fue subrayada cuando se revisaron las orientaciones de la biotecnología en esos países. En México, esa tendencia aún no está claramente definida. Ésta es la razón por la cual se observa la coexistencia de investigaciones determinadas por intereses académicos personales de los investigadores, junto con investigaciones que persiguen fines comerciales, o bien orientadas hacia problemáticas socioeconómicas nacionales específicas. Esta situación se debe principalmente a la falta de contactos formales entre la universidad y la industria y al hecho de que la investigación universitaria no se desarrolla en respuesta a las demandas del sector industrial.

Sin embargo, de la evidencia obtenida durante el trabajo de campo en que se apoyó esta investigación, se puede prever que una vez que los procesos biotecnológicos sean transferidos de los centros de enseñanza superior a la industria, el factor determinante en su industrialización y comercialización será su rentabilidad económica. Lo anterior se sustenta en que México se basa en una economía de mercado y, aunque a nivel nacional existen planteamientos de desarrollo orientados a satisfacer las necesidades de la mayoría de la población, éstos generalmente no coinciden con los intereses comerciales de las empresas.

Se identificó un conjunto de desarrollos biotecnológicos que tienen el potencial para mejorar algunos de los severos problemas agroalimentarios de México. Pero requieren ser desarrollados hasta el punto en que se demuestre su factibilidad económica, antes de que se pretenda que puedan ser adaptados y aplicados por el sector industrial.

7.2 Tendencias en la investigación en biotecnología vegetal

La investigación en biotecnología vegetal se orienta a la consideración de cultivos ornamentales y hortícolas cuyo objetivo central es la obtención de material vegetativo para la exportación. Debido a que las técnicas de cultivo de tejidos tienden a ser

adecuadas para los cultivos mencionados con anterioridad y no para las especies que se reproducen a través de semillas, tales como los cereales, las orientaciones actuales de la investigación en biotecnología de plantas están basadas tanto en la importancia comercial de las especies investigadas, como en las técnicas existentes que permiten una regeneración más rápida de plantas iguales que por métodos convencionales de mejoramiento genético.

En estas técnicas están interesadas empresas privadas, tanto pequeñas como grandes, que perciben el atractivo de los mercados internacionales para estos cultivos y que pretenden competir con ellos mediante el uso de biotecnologías. En este sentido, las vinculaciones o usos de los procesos biotecnológicos marcan una tendencia a la privatización de los mismos, tal como ha ocurrido en los países desarrollados (Buttel *et al.*, 1985).

Para la biotecnología vegetal el factor que determina la actual orientación hacia los cultivos ornamentales y hortícolas es de carácter científico-técnico, ya que dadas las limitaciones existentes, los investigadores aún no conocen ni han desarrollado las técnicas adecuadas a los cultivos básicos relevantes para la alimentación humana, por lo que han optado por la aplicación de las técnicas ya conocidas a los cultivos en los que es factible su utilización.

La biotecnología vegetal en México investiga de manera muy incipiente sobre granos básicos para la alimentación. Tampoco se presta mucha consideración a los problemas de las tierras menos favorecidas o a la producción de insumos agrícolas adecuados para los campesinos de bajos ingresos. Sin embargo, existe interés por sustituir el uso de insumos agrícolas químicos por insumos biológicos, con lo que se reducirían sus importaciones y se evitarían los problemas de contaminación que actualmente originan los químicos. No obstante, la investigación sobre tierras de temporal y zonas áridas es prácticamente inexistente. La excepción la constituye el equipo de investigación en ingeniería genética de plantas del CINVESTAV-Irapuato, cuya política explícita a mediados de los años ochenta, estaba dirigida a confrontar los problemas de la agricultura de la región en que está localizada. Esa institución planeaba abordar dicha problemática mediante variedades de frijol adecuadas a las condiciones de tierra existentes en la región del Bajío.

Las tendencias de la investigación en biotecnología vegetal en México de alguna forma reproducen las tendencias de la investigación que se observan en el mundo desarrollado, puesto que los cultivos de interés son los industriales y comerciales, y se asume un uso más efectivo de los insumos agrícolas característicos de la

agricultura comercial. Sin embargo, la investigación en esta área aún no se sitúa en la frontera del conocimiento, ya que la biología molecular y las técnicas de ingeniería genética aplicadas a plantas son aún áreas de incipiente desarrollo. En este sentido, no hay indicios de que la investigación en México se oriente a la sustitución de cultivos por sustancias generadas por métodos biosintéticos, o a la optimización en el uso de herbicidas y pesticidas mediante la modificación genética de la planta, tal como ya ocurre en los países desarrollados.

Resumiendo, se puede afirmar que la tendencia en la investigación en biotecnología de plantas está centrada en cultivos de exportación por medio de técnicas de micropropagación. La investigación en cultivos básicos y su mejoramiento por medio de técnicas biotecnológicas no está siendo actualmente desarrollada. Tampoco se percibe una tendencia hacia el estímulo de las tierras de temporal o de las zonas áridas para hacerlas productivas, en especial de granos básicos. El cultivo de dichos granos y el logro de la autosuficiencia en los mismos, permanecen aún planteados como grandes desafíos que pudieran enfrentarse mediante el uso de la biotecnología, pero hacia los cuales aún no se invierten esfuerzos de investigación en el país.

La agricultura campesina o de temporal aún no es considerada como una prioridad explícita de la investigación biotecnológica en México y podría afirmarse que tampoco en los países desarrollados. Sin embargo, sí existe conciencia entre los biotecnólogos respecto de que los desarrollos tecnológicos producidos por la revolución verde beneficiaron principalmente a la agricultura comercial dominada por las grandes empresas. Salvo excepciones, como la de la investigación sobre frijol para la región del Bajío, o la del mejoramiento genético del amaranto, no existen aún planteamientos sobre investigación biotecnológica para las zonas agrícolas mencionadas.

7.3 Tendencias de la investigación en biotecnología agroindustrial

La investigación en biotecnología agroindustrial en México ha estado basada en el uso de un gran número de recursos disponibles en forma de residuos agrícolas y subproductos agroindustriales. Entre estos usos destaca el interés por la producción de alternativas para alimentación animal, tanto en forma de concentrados proteicos como de POU.

Una vez que esos recursos son revalorizados por medio de un incremento en su contenido proteico, pueden emplearse para intensificar la producción avícola y porcícola en las zonas rurales, en las que hasta ahora estas actividades se han desarrollado muy escasamente, ya que podrían contribuir a incremenar la producción de proteínas animales y beneficiar tanto a la población rural como a la urbana.

La introducción de alimentos para animales que tiene su origen en residuos y subproductos sustituyendo las mezclas preparadas a partir de semillas oleaginosas, sorgo y soya, podría tener repercusiones en el decremento de las importaciones de soya y serviría para liberar tierras que hasta ahora han sido empleadas para el cultivo del sorgo, y que podrían ser utilizadas para cultivos relevantes para el consumo humano.

Por lo que se refiere a otras orientaciones de esta área de investigación relacionadas con la industria alimentaria, existe evidencia de que las aplicaciones finales de los procesos biotecnológicos se orientarán a la producción de aditivos para la industria alimentaria, con la consecuente intensificación de productos poco relevantes para la nutrición humana. Esto se origina en que los aditivos alimenticios son productos de mayor valor agregado y generan por lo tanto una mayor rentabilidad de los procesos. Esto hace que exista un mayor interés de la industria alimentaria por este tipo de procesos en vez de aquellos que principalmente se orientan a la producción de proteínas, como sería el caso de la producción de POU, que aún es un proceso económicamente incosteable.

Se observa también una tendencia en la investigación biotecnológica relacionada con la industria alimentaria, de contribuir a la sustitución de importaciones en ese sector mediante la producción interna de sustancias requeridas por dicha industria. Éste sería el caso de la goma xantana que es empleada para dar consistencia y viscosidad a los alimentos, o el de la enzima lactasa que se emplea para producir leches deslactosadas para la población intolerante a la lactosa. Aquí se detectan dos tendencias diferentes: la primera orientada a la producción de alimentos suntuarios y la segunda dirigida a resolver un problema que aqueja a una parte importante de la población.

Las tendencias actuales indican que el factor decisivo en la industrialización de los procesos biotecnológicos estará dado por el logro de la rentabilidad económica, independientemente de los objetivos socioeconómicos que se persigan. En México, a pesar de que los procesos biotecnológicos en su mayoría no superan el

nivel de planta piloto, el factor decisivo para su industrialización será el económico. Las tendencias de la biotecnología para sociedades en desarrollo como la mexicana, se debaten entre la prevalencia de los intereses comerciales y la relevancia social de las investigaciones.

El uso de procesos de fermentación, su optimización, la adaptación de tecnologías, así como el empleo de una gran cantidad de recursos naturales, dan a la biotecnología agroindustrial en México un carácter propio, y la sitúan en lo que ha sido definido en el primer capítulo como biotecnología de segunda generación, apropiada o convencional. Este hecho que para algunos especialistas en el campo representa un atraso con respecto a los países desarrollados, puede también ser visto, desde otro ángulo, como una ventaja comparativa derivada del interés de los investigadores mexicanos por mejorar y adaptar los procesos que resultan relevantes para los problemas nacionales y para el uso de los recursos naturales existentes en el país. La investigación en biotecnología agroindustrial implica nuevas opciones alimentarias para México, mediante un reaprovechamiento de los esquilmos agrícolas y los subproductos agroindustriales.

7.4 Impactos socioeconómicos potenciales

A la luz de los argumentos e hipótesis discutidos en el capítulo 2, en relación con los problemas que confronta actualmente el sector agroalimentario en México, y que podrían ser resueltos mediante la aplicación de biotecnologías, a continuación se exponen las perspectivas que se prevén después de analizar las orientaciones de la investigación en el país.

1) En cuanto al mejoramiento de granos básicos para incrementar su contenido nutricional y su producción en tierras poco aptas para la agricultura, la investigación biotecnológica que se desarrolla en el país no ofrece aún posibilidades ni potencialidades a corto plazo. Sin embargo, a nivel internacional existen algunos indicios de que dichos objetivos serían posibles en el largo plazo. Tal sería el caso de las investigaciones sobre arroz que han logrado generar variedades capaces de crecer en suelos salinos (Arroyo y Weissbluth, 1988). Esto lleva a plantear que es necesario que México incorpore los avances que se están dando en el contexto internacional con relación a los granos básicos, y los aplique y desarrolle en aquellos que resultan prioritarios para la dieta de la población, como serían el maíz y el frijol.

2) En cuanto al mejoramiento de las semillas oleaginosas y la producción de concentrados proteicos a partir de recursos pesqueros, se realizan muy escasos esfuerzos de investigación. Existe un ejemplo de investigación sobre residuos quitinósicos con aplicaciones potenciales en la agroindustria alimentaria y no alimentaria, y otro caso de empleo de recursos pesqueros para la producción de alimentos para humanos. Sin embargo, estos programas de investigación son muy incipientes y aún no completan la etapa de laboratorio. Dada esta situación, no se vislumbra la posibilidad de que se produzcan concentrados proteicos a partir de esos recursos, ni en el corto ni en el mediano plazos.

3) El mejoramiento nutricional de los alimentos que tradicionalmente consume la población, como tortillas o atoles, tampoco parece ser factible en el corto plazo. Se requeriría optimizar los procesos para la producción de POU a partir de diversos subproductos y elaborar las pruebas necesarias para demostrar que ese producto no es nocivo para la salud. La producción de levadura torula que podría destinarse a este fin, ya que su uso en la alimentación es ya común en países como Cuba, parece ser que no se usará en México con una finalidad nutricional. La optimización de la rentabilidad económica del proceso biotecnológico para la producción de levadura torula a partir de melazas de caña, ha llevado a plantear su utilización como aditivo para la industria alimentaria, ya que este uso representa un producto de mayor valor agregado y, por ende, de mayor redituabilidad.

4) Dada la actual tendencia en la investigación, relacionada con los subproductos y esquilmos agrícolas, ésta parece ser una de las áreas más prometedoras para contribuir a solucionar el problema agroalimentario del país. El empleo de esos recursos para producir forrajes enriquecidos o POU para consumo animal, permitiría contar con nuevas fuentes para ese fin y disminuir así las importaciones y el uso del sorgo, soya y maíz. Sin embargo, en esta área se requiere definir un programa nacional para optimizar el uso de dichos recursos así como para evitar la competitividad entre ellos. Actualmente se investiga con esos recursos para muy diversos fines, no todos ellos relacionados con el sector agroalimentario. De lo anterior se desprende que quedan aún por definir los mejores usos para dichos subproductos y esquilmos, tarea en la que deben participar los propios biotecnólogos, debido a que se requiere de un alto grado de especialización para definir las diversas opciones.

5) Por lo que se refiere a las pérdidas posteriores a la cosecha, que como se mencionaba al caracterizar la problemática agrícola,

merman en forma importante la producción de dicho sector, existen algunos esfuerzos de investigación por entender los problemas del ataque de insectos a los granos durante el almacenamiento. Estos esfuerzos se realizan en el nivel de investigación básica y es en el largo plazo que los investigadores prevén modificar genéticamente la estructura de los granos para evitar que éstos sean atacados por insectos. Sin embargo, las pérdidas posteriores a la cosecha podrían también ser resueltas mediante tecnologías que no se derivan de la biotecnología. El uso más adecuado y eficiente de técnicas de almacenamiento, apropiadas para las diferentes regiones climáticas del país, parece ser la solución más viable en el corto plazo. De esa forma, podrían reducirse las pérdidas posteriores a la cosecha, y la modificación genética de los granos queda planteada como una meta a largo plazo. Éste es un ejemplo claro para argumentar que los problemas tecnológicos que confronta el sector agroalimentario en México requieren aportaciones tanto de las tecnologías convencionales como del desarrollo de las llamadas nuevas tecnologías.

6) Respecto del fenómeno que se observa a nivel internacional de sustitución de las exportaciones de azúcar provenientes de países del Tercer Mundo, que ha generado un colapso del precio de este producto, en México no se percibe aún una preocupación por enfrentar esta situación, ni por investigar sobre nuevos usos de este producto agrícola. Como ya se señaló al analizar las políticas estatales en biotecnología, no se ha planteado una estrategia gubernamental para reconvertir el sector azucarero, entendida tal reconversión como la transformación de esta industria para generar nuevos productos a partir del azúcar. En este campo específico se observa un desfase entre la falta de acciones gubernamentales para reorientar los usos de este cultivo y las orientaciones cada vez más diversificadas de la investigación biotecnológica, en la búsqueda de nuevos usos para los subproductos generados por el azúcar, tanto en su fase agrícola como en su fase agroindustrial.

7) Las perspectivas parecen poco alentadoras en cuanto a las posibilidades de que la investigación biotecnológica ayude a modificar los patrones prevalecientes en la agricultura y la alimentación. Sin embargo, las actuales orientaciones de la biotecnología agroindustrial indican la posibilidad de generar un nuevo patrón de alimentación animal, basado en una gran cantidad de recursos naturales internos. Esto ayudaría a generar un patrón más diversificado de fuentes de proteínas para consumo humano, a pesar

del hecho de que persistiría un modelo de alimentación basado en el consumo de proteínas animales, patrón que sustituyó el modelo tradicional que existía en el país, basado originalmente en maíz y proteínas vegetales.

8) Finalmente, en relación con la posibilidad de alcanzar la autosuficiencia alimentaria en cultivos básicos y de mejorar la situación de la agricultura y la alimentación en México por medio de la biotecnología, es aún bastante desalentadora. Si se retoma la hipótesis general que fue planteada al inicio de este estudio, podría afirmarse que la investigación biotecnológica, tal como se desarrolla actualmente en las instituciones de educación superior en México, plantea algunas potencialidades para el sector agroalimentario. Dadas las actuales características de las actividades de investigación existentes, no es posible afirmar que la biotecnología contribuirá en el corto plazo a lograr la autosuficiencia alimentaria en cultivos básicos, aunque sí podría incidir, en el mediano plazo, en la reducción de algunas de las importaciones destinadas a ese sector. Las grandes promesas de la biotecnología para el sector agroalimentario son aún bastante inciertas. La adopción de orientaciones adecuadas para alcanzar objetivos tales como la autosuficiencia alimentaria, deben afrontar las fuertes limitaciones a las que se enfrenta el desarrollo biotecnológico.

7.5 Limitaciones para el desarrollo biotecnológico

Una de las preocupaciones centrales de este estudio gira en torno a la adopción de criterios de orden cualitativo que permitan detectar la problemática relacionada con el desarrollo biotecnológico en México. Dicha preocupación se sustenta en que el fortalecimiento de las capacidades de investigación en los países en desarrollo es una de las áreas más importantes en la planeación de la investigación agrícola (Biggs, 1981). Por lo anterior, la evaluación y análisis de las actividades de investigación existentes permitirían establecer una base firme sobre la cual fortalecer dicha capacidad. La importancia de la consideración de las capacidades de investigación locales o existentes, expresada por otros autores (Biggs y Clay, 1981), fue confirmada en esta investigación, concluyéndose que el conocimiento de la capacidad de investigación existente en biotecnología agrícola y agroindustrial resulta ser un elemento indispensable para poder definir una estrategia y una política para fortalecer dicha área de investigación.

Del análisis elaborado en torno a esa capacidad se desprende lo siguiente:

La investigación empírica y directa realizada con los actores que intervienen en el proceso de generación de la capacidad biotecnológica del país, permitió percibir las principales limitaciones y problemas que confronta esta área de investigación. Dichas limitaciones no se reducen simplemente a los escasos recursos y financiamientos que a ella se destinan, sino que se relacionan con muy diversos aspectos, algunos de los cuales son de estricto orden científico-técnico y otros de carácter político y económico.

Los criterios seleccionados para el análisis de esta capacidad de investigación —aspectos científico-técnicos, factibilidad económica, oportunidades políticas y relevancia social—, y que definieron la metodología de este trabajo, resultaron ser relevantes para entender la problemática global y específica de esta área de investigación. Del presente estudio se desprende que el desarrollo biotecnológico en México confronta actualmente muy diversos obstáculos y las limitaciones existentes van mucho más allá de las sistematizadas por Buttell y Kenney (1985). De acuerdo con estos autores, el obstáculo fundamental está constituido por la falta de voluntad política del gobierno para el desarrollo de esta área de investigación.

Sin embargo, también existen otras limitaciones importantes en los planos institucional y de organización, que atañen directamente a los protagonistas del desarrollo biotecnológico. Tal como ha sido señalado en otro capítulo, el individualismo, la falta de definición de prioridades de investigación con la consecuente dispersión y duplicación de esfuerzos, así como la falta de definición en los mismos centros de investigación de una política explícita, son factores que determinan el lento avance de la investigación biotecnológica, así como su falta de adecuación a las prioridades relevantes. Para el caso de México, las características estructurales del sistema educativo se constituyen así en importantes barreras para un desarrollo biotecnológico socialmente relevante. Sin embargo, atribuir a los factores anteriores los limitados alcances y aplicaciones de la investigación biotecnológica en el país, sería sesgar el problema y caer en determinismos político-económicos. Los problemas que confronta actualmente la biotecnología en México tienen también mucho que ver con las propias limitaciones científico-técnicas de este campo de investigación. Tal

como se ha explicado en los capítulos correspondientes, algunas líneas de investigación confrontan aún múltiples desafíos, no solamente en el país, sino también a nivel internacional.

Podría argumentarse que sería factible superar dichas limitaciones si se resuelve el problema de los recursos y el financiamiento. Como ya se señaló en el primer capítulo de este trabajo, una tendencia en los países del Tercer Mundo ha sido la de atribuir el escaso desarrollo científico-técnico a factores económicos e institucionales. De ahí que las recomendaciones derivadas de estudios internacionales concluyan que es necesario incrementar los montos de los recursos humanos, materiales y financieros para avanzar en dicho desarrollo.

Sin embargo, tal como se ha demostrado en este estudio, las limitaciones del desarrollo biotecnológico no solamente se explican a partir de la escasez de los recursos canalizados a esta área de investigación, sino también por las limitaciones inherentes a su desarrollo, así como por las características de los espacios políticos e institucionales en los que se desenvuelve.

Del estudio realizado, y que consideró tanto las opiniones de una muestra de biotecnólogos, así como las condiciones en que se desenvuelve la investigación biotecnológica, se han desprendido las principales limitaciones y problemas que ésta confronta. Las limitaciones son múltiples y de diversa naturaleza, algunas principalmente científico-técnicas, mientras que otras son de carácter económico y político. Estos factores se combinan y limitan el desarrollo de la biotecnología en México.

Las principales limitaciones para el desarrollo biotecnológico en México se resumen en los siguientes aspectos:

- 1) Existen limitaciones científico-técnicas para el desarrollo de procesos o productos biotecnológicos. Estas limitaciones son diferentes para la biotecnología vegetal y la biotecnología agroindustrial y fueron ya detalladas en los capítulos correspondientes. Estos dos campos de investigación confrontan diversos problemas de carácter científico y técnico que limitan su desarrollo y consecuentemente su relevancia para resolver los problemas agroalimentarios en el país.

- 2) Otras limitaciones se relacionan con la factibilidad económica y, por ende, con la rentabilidad de los procesos biotecnológicos. Este es uno de los factores que explica la falta de aplicación industrial de los procesos que han completado la fase experimental de laboratorio, y que, combinado con la falta de interés del sector industrial por invertir en plantas piloto en las que la rentabilidad

económica haya sido probada, o de las empresas biotecnológicas en usar procesos generados internamente, explica hasta cierto punto lo débil de la industria biotecnológica nacional.

3) Se encontraron también limitaciones institucionales debidas a la organización estructural de las instituciones y a su falta de definición de políticas de investigación. Tales problemas de organización y de falta de políticas de investigación afectan en general a la infraestructura científica y tecnológica de México. La forma de organización de las actividades de investigación no permite la consolidación de relaciones con el sector productivo ni tampoco con las políticas socioeconómicas.

A través de esta investigación se ha confirmado que algunos de los problemas centrales que afectaban el desarrollo científico y tecnológico durante la década de los setenta, entre los que cabe mencionar la escasa vinculación entre universidades y sector productivo, prevalecen aún en el sistema científico contemporáneo en México y repercuten en la investigación biotecnológica, campo que es por excelencia de carácter aplicativo. Si bien se han hecho varios intentos por interesar a la industria en la investigación, lo cierto es que aún prevalecen los problemas de vinculación de los años setenta.

4) Otras limitaciones para el desarrollo biotecnológico tienen que ver con las actitudes de los investigadores respecto de sus trabajos de investigación, así como de las normas y valores que lo rigen. Entre éstos aún prevalece una falta de conciencia social, así como una falta de definición y claridad con respecto del papel de la ciencia y la tecnología en la sociedad y en particular su importancia y potencialidades para un país en desarrollo.

5) Otro factor que limita el desarrollo biotecnológico es la falta de integración entre las políticas estatales de ciencia y tecnología explícitas e implícitas. Los planteamientos expresados por el gobierno en los planes no se han llevado a la práctica de manera adecuada. La política biotecnológica implícita es la que llevan a cabo los centros de investigación y los organismos, que no necesariamente siguen los objetivos formulados en los planes gubernamentales explícitos. Estos elementos, combinados con la falta de una estrategia gubernamental efectiva para el desarrollo de la biotecnología, obstaculizan que la base científica y tecnológica existente en México sea considerada para hacer frente a problemas socioeconómicos específicos, que podrían ser superados por la vía biotecnológica.

6) Finalmente, existen limitaciones determinadas por la estrategia de desarrollo económico basada en inversiones extranjeras y que contradice las propuestas explícitas formuladas por el gobierno, de impulsar un desarrollo tecnológico nacional con el propósito de garantizar un desarrollo económico eficiente.

7.6 Orientaciones de política para el desarrollo biotecnológico en México

De la investigación realizada se desprende que México cuenta con una capacidad de investigación biotecnológica importante, evaluada ésta no sólo en términos cuantitativos sino también cualitativos.¹ El desarrollo de esta capacidad es resultado de los esfuerzos emprendidos por diversas instituciones de educación superior desde los años cuarenta. Sin embargo, las direcciones de esta área de investigación aún no han sido definidas explícitamente y éste es uno de los aspectos de mayor preocupación para la política científica en México.

A diferencia de la revolución verde, que orientó la investigación hacia una agricultura basada en tierras de buen clima y con sistemas de irrigación, la biotecnología permite abrigar la esperanza de extender la agricultura a casi todas las condiciones climáticas y geográficas existentes, es decir, generar cultivos que puedan adaptarse a condiciones de sequía o de exceso de humedad, así como variedades resistentes a plagas y pestes y con características genéticas que les permitan autofertilizarse. La biotecnología, en principio, sería apropiada para todo tipo de agricultura, además de que la aplicación de estas tecnologías implicaría menor dependencia de insumos agrícolas en general, ya que las variedades mejoradas por técnicas de ingeniería genética responderían por sí solas a las diferentes condiciones.

Esto, desde luego, resulta muy atractivo para países como México. Sin embargo, como se ha planteado en el primer capítulo de este libro, las tendencias del desarrollo de la biotecnología en el mundo desarrollado no corresponden necesariamente a esas grandes promesas de la biotecnología. Los países desarrollados buscan fundamentalmente sustituir sus cultivos de importación por pro-

¹ Sobre este aspecto, Trigo y Piñeiro afirman que en cuanto al nivel de recursos asignados a la investigación agropecuaria, América Latina es la región más favorecida del mundo en desarrollo. Sin embargo, solamente un reducido número de países (Argentina, Brasil, México y Colombia) concentran la mayoría de las inversiones en esta área (Trigo y Piñeiro, 1983, p. 330).

ductos generados mediante métodos biosintéticos, que no hacen necesaria la existencia de la materia prima o que pueden ser producidos a partir de otros recursos naturales. Tal es el caso de la sustitución de azúcar de caña por isoglucosa de maíz y por el aspartame. Esta situación se extiende ya a cultivos como el cacao o el café, lo que ha causado una aguda crisis a los países que ahora los exportan, entre los cuales México ocupa un lugar destacado.

La brecha que separa a México del mundo desarrollado en los avances biotecnológicos no es insalvable. Dicha brecha disminuye en importancia si se considera precisamente que el curso que sigue la biotecnología en el mundo desarrollado no es necesariamente el más apropiado para los problemas que confronta la agricultura y el sector alimentario en México. La investigación biotecnológica en el país debería estar principalmente dirigida al estudio de los cultivos básicos para la alimentación. El mejoramiento genético de esos cultivos y su resistencia a enfermedades y condiciones ambientales son aspectos que requieren más investigación. En el plano internacional, tal como se señaló en el capítulo 3, se realizan algunos esfuerzos dirigidos a cultivos básicos de interés para México. Sin embargo, el principal objetivo de esos esfuerzos es obtener variedades resistentes a insumos agrícolas específicos tales como los herbicidas. Los problemas de la agricultura mexicana implican que, para mejorar los cultivos alimenticios, se requiere investigar sobre variedades resistentes a enfermedades, plagas, condiciones ambientales y variedades capaces de autofertilizarse. Estos aspectos son especialmente importantes en relación con las necesidades tecnológicas del sector campesino. Este sector no posee los medios económicos para adquirir los insumos agrícolas necesarios para garantizar buenas cosechas, y aun si los tuviera, tales insumos no serían necesariamente suficientes en tierras con dificultades ambientales particularmente severas y que no reciben irrigación. Por lo tanto, los campesinos están demandando semillas que puedan ser usadas en tierras que difieren de las condiciones de la agricultura comercial.

Si se observan otros requerimientos del sector agroalimentario en México, que fueron expuestos en los primeros capítulos de este libro, existe gran necesidad de alimentos proteicos para mejorar los problemas nutricionales de la población. Existe también la necesidad de nuevas fuentes de alimentación animal que no compitan con fuentes para el consumo humano. En relación con estos requerimientos, existen desarrollos de investigación interesantes en el país. Estos objetivos de investigación son de

menor importancia para la mayor parte de los países desarrollados, lo cual se debe a que no están interesados en, o no necesitan incrementar la producción total de proteínas alimentarias. Dichos países no requieren cambiar los patrones de alimentación animal, ya que éstos no compiten con los alimentos humanos, aunque sí estarían interesados en aumentar su productividad.

Considerando de manera general los problemas agroalimentarios que confronta México, y que fueron expuestos al inicio de este libro, se requiere formular y llevar a cabo una estrategia más adecuada para orientar los desarrollos biotecnológicos hacia las necesidades del país. Para esto, serían necesarias iniciativas institucionales que pudieran conjuntar la experiencia de los biotecnólogos, de los especialistas en problemas agrícolas y de quienes formulan las políticas científicas y tecnológicas.

El objetivo de esta investigación ha sido identificar la relevancia de la investigación biotecnológica en relación con los problemas agroalimentarios generales que confronta el país. Tales problemas sociales deberían ser considerados en el futuro por el sector productivo, para orientarse hacia la satisfacción de las necesidades que fueron detectadas en el capítulo 2. Las necesidades del sector productivo deberían por lo tanto ser definidas en el marco de los requerimientos socioeconómicos de la población. Sin esta consideración, el desarrollo industrial puede llevar a incrementar la productividad sin necesariamente lograr objetivos de desarrollo socioeconómico.

Del análisis elaborado en los capítulos 3, 4, 5 y 6 relacionados con la investigación biotecnológica y dadas las necesidades tecnológicas identificadas al inicio de este libro, se pueden proponer algunos lineamientos de política con el propósito de definir una estrategia biotecnológica para México. Las políticas que se proponen en esta sección se relacionan con las necesidades socioeconómicas de la agricultura y la alimentación, así como con los requerimientos para adquirir una capacidad de investigación más adecuada para lograr satisfacer esas necesidades.

7.6.1 Campos prioritarios para la investigación en biotecnología vegetal y agroindustrial

7.6.1.1 Esquilmos agrícolas y subproductos agroindustriales para el sector alimentario agroindustrial

Una de las áreas en la que se concentran importantes esfuerzos de investigación, es la que se relaciona con el uso de los cuantiosos recursos existentes en el país en forma de esquilmos agrícolas y subproductos agroindustriales. Existen ya desarrollos tecnológicos que han sido adaptados a partir de tecnologías importadas así como acciones concertadas entre entidades productivas y centros de investigación. Ésta es una de las áreas de investigación con mayor incidencia directa sobre uno de los problemas que confronta el sector agroalimentario, y que es el que se origina en la competencia entre cultivos para consumo humano y cultivos para alimentación animal.

El uso de dichos recursos plantea la necesidad de intensificar la investigación en fermentaciones sumergidas y sólidas, el reciclaje de desechos y la descomposición de la biomasa lignocelulósica. Estas áreas requieren aún de investigación y de la solución a problemas que se generan en el uso de recursos específicos, como podrían ser por ejemplo los lignocelulósicos, tan abundantes en el país y tan difíciles de trabajar por su composición química. Los procesos biotecnológicos orientados al uso de estos recursos requieren de un nivel tecnológico que ha sido calificado como intermedio (Bull *et al.*, 1982), con inversiones moderadas y operaciones medianamente complejas, lo que aunado a la experiencia acumulada en las instituciones de investigación, representa una opción para la investigación biotecnológica en México y una alternativa para la alimentación animal.

7.6.1.2 Esquilmos agrícolas y subproductos agroindustriales para otros sectores

El empleo de esquilmos agrícolas y subproductos agroindustriales plantea también opciones importantes para la agroindustria no alimentaria y para el sector energético, tales como fertilizantes orgánicos y biológicos e insecticidas microbianos. Éstos representan líneas prioritarias para el país, debido a que se orientan a sustituir importaciones y disminuir la contaminación por el empleo de insumos agrícolas de origen químico.

Lo anterior implica que la investigación biotecnológica en México debería estar basada en una propuesta integral para el uso de esquilmos y subproductos, con el propósito de optimizar su uso y definir el sector o sectores para los que serían más idóneos. Sin embargo, la decisión final para el uso de estos recursos implica el

desarrollo de estudios de factibilidad que permitan demostrar sus usos comerciales más adecuados. Tales opciones comerciales deberían ser analizadas considerando los problemas socioeconómicos identificados que requieren de soluciones biotecnológicas. Con todos estos elementos presentes se podría tomar una decisión que considerase tanto las implicaciones comerciales como las socioeconómicas de los procesos para la utilización de esos recursos.

7.6.1.3 Fijación biológica del nitrógeno

Éste es uno de los campos tradicionales de investigación en México. Dos opciones de política diferentes deben ser consideradas. La primera de ellas, relacionada con el corto plazo, es la producción interna de inoculantes, con el propósito de reducir sus importaciones y permitir la creación de una industria nacional. Esto implica la intensificación y coordinación de los grupos de investigación que trabajan en microbiología de suelos con el propósito de crear una industria nacional para la producción de inoculantes. Esta opción implicaría, en primer lugar, un decremento en las importaciones de fertilizantes; en segundo lugar, la adopción de una política de fertilización basada en productos biológicos en vez de químicos, que reduciría los problemas de contaminación y, en tercer lugar, el desarrollo de una industria nacional que reduzca la dependencia de empresas extranjeras y contribuya a fortalecer un sector estratégico para la economía mexicana.

La segunda opción sobre fijación de nitrógeno, relacionada con el largo plazo, es coordinar esfuerzos en biología molecular con el propósito de contribuir a la modificación genética de cultivos básicos para que alcancen sus propios mecanismos de fijación del nitrógeno.

7.6.1.4 Mejoramiento genético de cultivos básicos

Se trata de un campo de investigación escasamente desarrollado en México, pero de gran relevancia, ya que ofrece posibilidades de modificar genéticamente y de mejorar los cultivos básicos. De ahí que se deben dedicar esfuerzos y recursos a crear una infraestructura humana y material que permita la investigación en ingeniería genética a largo plazo sobre cultivos tales como maíz, frijol

y otros cultivos específicos de México. Tales cultivos necesitan ser adecuados para el medio físico prevaleciente en la agricultura del país, como sería el de tierras áridas, salinas excesivamente húmedas y capaces de autoincrementar su productividad.

7.6.1.5 Bioingeniería

Es necesario dirigir esfuerzos a este campo de investigación. Su importancia radica en la necesidad de crear y adaptar en todo el país la infraestructura tecnológica necesaria para hacer posibles los procesos biotecnológicos, tanto a nivel laboratorio como a nivel industrial.

Como se ha demostrado en este trabajo, existen ya algunas compañías nacionales involucradas en esta tarea, que han producido equipos tales como fermentadores que se emplean en laboratorios biotecnológicos. Existe ya una capacidad en ingeniería que debe ser explotada para producir el equipo que demandan las unidades de investigación. Esta capacidad debería ampliarse a la producción de equipo que se use en plantas piloto, así como en el sector industrial.

7.6.2 Formación de recursos humanos

Puesto que la biotecnología es un campo de investigación que depende fuertemente de los conocimientos adquiridos en el mundo académico, tal como quedó establecido en el primer capítulo, una estrategia de desarrollo biotecnológico en México debe considerar el fortalecimiento de la formación de recursos humanos tanto en el nivel de licenciatura como en el de postgrado.

El sistema educativo en México aún no es fuerte en los campos de la frontera biotecnológica, tales como biología molecular e ingeniería genética. Es necesario fortalecer los programas de postgrado existentes en esos dos campos, que permitan la formación de recursos capaces de desarrollar investigaciones relacionadas con el mejoramiento genético de los cultivos básicos.

De igual forma, la interdisciplina debe considerarse un elemento importante de la política de formación de recursos humanos. Hasta ahora, la tendencia ha sido producir recursos en cada una de las disciplinas que conforman la biotecnología. Es necesario preparar personal capaz de comprender y trabajar conjuntamente

en las disciplinas que integran la biotecnología, tanto a nivel licenciatura como de postgrado. Este objetivo podría alcanzarse por medio de nuevas orientaciones y de canalizar nuevos recursos a las instituciones educativas existentes en biotecnología.

Otro de los problemas que se detectaron en este estudio se relaciona con la tendencia individualista en el trabajo de investigación de los biotecnólogos. Este problema debería considerarse parte de los programas educativos en general, ya que afecta no solamente a la biotecnología sino al conjunto de las actividades científicas y tecnológicas. Un cambio hacia el trabajo colectivo debería introducirse en los programas educativos, no sólo en el nivel universitario sino desde los niveles primarios y secundarios de la educación. Esta nueva orientación en los programas educativos debería complementarse con cambios en los patrones de evaluación de los investigadores. Los criterios prevalecientes para evaluar el trabajo de investigación hacen énfasis en los logros individuales. Se requiere superar estas limitaciones y considerar criterios diferentes a la evaluación individual y a las medidas de evaluación cuantitativa.

7.6.3 Vinculación con el sector productivo

En la definición de una estrategia biotecnológica para México, uno de los aspectos cruciales sigue siendo la formación de una estructura industrial capaz de poner en práctica los procesos biotecnológicos generados por la investigación. Éste sigue siendo uno de los grandes retos para México en biotecnología, que también se plantea a otros campos de competencia científica y tecnológica, cuyos objetivos centrales se expresan en la investigación aplicada.

México cuenta ya con procesos biotecnológicos que han sido desarrollados a nivel laboratorio. Algunos de ellos, como ya se ha explicado, son relevantes para ayudar a resolver ciertos problemas agroalimentarios en el país. Sin embargo, se requiere de inversiones del sector productivo para llevar esos procesos al nivel de planta piloto, así como para mejorar su rentabilidad económica. Se requiere que el mejoramiento de estos procesos sea realizado por la industria, ya que las universidades no están inmersas en el desarrollo industrial.

Por ello, también se necesita introducir otros cambios institucionales para reformar la estructura de las universidades y permiti-

tirles que se involucren en desarrollos industriales. Las universidades y centros de educación superior siguen siendo el sector en el que se desarrollan por excelencia las actividades de investigación en México. El sector industrial aún no ha demostrado un auténtico interés por realizar sus propias actividades de investigación. Dada esta situación, deberían ponerse en práctica nuevas formas de organización para estimular los vínculos entre la universidad y la industria. Tanto las universidades como la industria, conjuntamente con el gobierno, deberían contribuir a la definición de una política biotecnológica para el país. Las universidades deberían participar más firmemente en la definición, desarrollo y aplicación de la política socioeconómica nacional, incorporando propuestas específicas de política biotecnológica en el marco de una política general.

La racionalidad en la vinculación de las universidades con la industria no debería estar basada en la adaptación de los desarrollos biotecnológicos generados en las universidades, a los patrones actuales de las demandas industriales, sino que, con una nueva racionalidad, se debería intentar desarrollar procesos biotecnológicos en las universidades como respuesta a las demandas identificadas en el sector industrial que puedan contribuir al logro de objetivos socioeconómicos específicos.

7.6.4 Organización institucional

México necesita nuevas formas de organización institucional para producir equipos fuertes de investigación que garanticen avances científicos y tecnológicos relevantes en biotecnología. Algunas de estas formas de organización han sido ya discutidas en este capítulo al referirse al problema de la formación de recursos humanos y al de la vinculación con el sector productivo. Sin embargo, la estructura de las universidades requiere ser revisada para superar su aislamiento de la sociedad y del sector productivo.

Asimismo, se necesitaría concebir equipos nacionales e interdisciplinarios de investigación en los campos de la investigación biotecnológica, identificados como prioritarios. Esto implicaría la colaboración entre los investigadores líderes, entre departamentos dentro de las instituciones, y aún más importante, entre las instituciones. El objetivo sería constituir grupos nacionales de investigación en áreas científicas y socioeconómicas relevantes, que garanticen el avance biotecnológico y la competencia en el pla-

no internacional. Sin embargo, esta propuesta no debe ser interpretada como la creación de nuevas instituciones. Por el contrario, las instituciones existentes deben ser fortalecidas mediante la canalización de los recursos económicos y materiales necesarios para que puedan desarrollar actividades de investigación de alta calidad.

Debido a que la investigación en biotecnología vegetal y agroindustrial se realiza actualmente en instituciones que no están relacionadas con la investigación agrícola, se requiere integrar a esas áreas en dicho campo de investigación por medio de convenios interinstitucionales. Estos convenios podrían ser una forma de integrar la investigación biotecnológica con la investigación agrícola convencional, contribuyéndose así a la consolidación de equipos interdisciplinarios de investigación.

La política de descentralización aún vigente en algunos centros de educación superior, debería orientarse a relocalizar en otros estados los recursos humanos y materiales hasta ahora concentrados en la capital del país. Hasta ahora la tendencia de la descentralización ha sido crear nuevas instituciones de investigación en los estados, adicionales a las existentes en la ciudad de México.

Por lo que se refiere a las instituciones de política científica involucradas en el desarrollo biotecnológico, se requiere de la definición de un programa coordinado de acciones. Estas acciones deberían considerar tanto el financiamiento como las áreas prioritarias que deben ser estimuladas. Las instituciones de política científica existentes podrían ser el medio para integrar a las instituciones de investigación en programas de investigación biotecnológica coordinados. Dichas instituciones de política científica cuentan ya con los mecanismos, pero no con el poder político para facilitar la integración. De ahí que las instituciones existentes de política de ciencia y tecnología deberían estar en condiciones de llevar a cabo sus políticas y convertirse en instituciones gubernamentales ejecutivas en vez de simples asesores de los organismos gubernamentales.

7.6.5 Asociaciones biotecnológicas

Las asociaciones científicas existentes en el campo de la biotecnología, tales como la AMCTV y la AMBB, requieren de ser revitalizadas. Su papel como foros en los que los biotecnólogos pueden intercambiar y discutir sus avances de investigación y generar opinión pública sobre la importancia de la biotecnología,

son aspectos que deben ser seriamente considerados. La dinamización de estas organizaciones permitiría que los investigadores estuviesen más actualizados sobre los avances de otros investigadores y daría la oportunidad de integrar esfuerzos interinstitucionales. La competencia individual e interinstitucional no puede evitarse, pero debería orientarse hacia el objetivo claro de hacer avanzar el conocimiento biotecnológico.

7.6.6 Definición de opciones para una estrategia biotecnológica

Puesto que la biotecnología es un campo de investigación que en las fases tempranas de su evolución se apoya en los conocimientos adquiridos en el mundo académico (Pérez, 1986), la estrategia de desarrollo biotecnológico para México debe considerar el fortalecimiento y consolidación de la investigación académica, que como se ha afirmado en los capítulos iniciales, ha sido la base para el posterior desarrollo de tecnologías en esta área.

Sin embargo, México no debería continuar por la vía de desarrollar simultáneamente todas las áreas de la investigación biotecnológica. Actualmente la situación es que numerosas unidades o centros de investigación realizan esfuerzos dedicados tanto a la salud como al sector químico o al medio ambiente, además del trabajo que realizan en relación con la agricultura o la agroindustria.

Del análisis realizado en esta investigación se deduce que México debería adoptar una política selectiva, tratando de dar grandes saltos (*leap-frog*) en algunos campos tales como la ingeniería genética de plantas. Esta estrategia debería ser complementada con la asimilación (*catch-up*) de tecnologías en otros campos, tales como el mejoramiento de procesos, orientados a su rentabilidad económica, incorporándolos a la base biotecnológica con la que ya se cuenta. Esta estrategia debería tener como objetivo la consolidación de una infraestructura humana capaz de generar desarrollos biotecnológicos relevantes en el país.

La conformación de una estrategia de desarrollo biotecnológico en México deberá considerar una combinación de orientaciones, dado que aún es necesario esperar que pase mucho tiempo antes de que el potencial revolucionario implícito en la ingeniería genética se traduzca en saltos tecnológicos (Pérez, 1986). Además, debido a que existen diversos niveles biotecnológicos o biotecnologías de distintas generaciones, la estrategia a seguir deberá considerar de entre éstas las que más se adecúen a las necesidades del

sector agroalimentario. Es decir, que una política biotecnológica para el sector agroalimentario en México no debe limitarse a la biotecnología de tercera generación. Existen en el país desarrollos en biotecnología de segunda generación que son relevantes para problemas socioeconómicos específicos. De ahí que una estrategia biotecnológica para México debería estar basada tanto en procesos relevantes de la biotecnología de segunda generación, como en los avances de la nueva biotecnología que sean relevantes para confrontar los problemas agroalimentarios señalados en los primeros capítulos de este libro.

Una estrategia biotecnológica para el sector agroalimentario debería diseñarse conjuntamente con la vasta experiencia que tiene México en la investigación agrícola convencional. Esto se sustenta en el hecho de que dicha investigación ha contribuido con importantes tecnologías para este sector. Los fitomejoradores son los especialistas que finalmente se encargarán de llevar al campo las semillas modificadas mediante la biotecnología. De ahí que la investigación convencional debe ser considerada por quienes formulan las políticas. El diseño de una estrategia de investigación para el sector agrícola y agroindustrial debería basarse tanto en la investigación convencional como en la biotecnológica.

En relación con los mecanismos de política y con las instituciones que llevarían a cabo las propuestas que se han elaborado en las secciones anteriores, es importante subrayar que México no necesita crear nuevas instituciones de política. Los limitados alcances de la política de ciencia y tecnología en el país no se han debido a la falta de instituciones. De hecho México ha acumulado, desde el inicio de la década de los setenta, una estructura institucional compleja de política de ciencia y tecnología. De ahí que lo que se requiere es integrar los actuales mecanismos de política y las instituciones y esclarecer y definir las opciones de política biotecnológica. Además de estos esfuerzos, se necesitan decisiones de política efectivas por parte del gobierno para llevar a cabo los objetivos señalados

7.6.7 Tópicos futuros para la investigación sobre política biotecnológica

Este trabajo ha considerado un amplio conjunto de elementos relevantes para la definición de una política biotecnológica en México. Se intentó presentar un panorama lo más completo posible de este campo de investigación, de sus características y de

los problemas que confronta. Sin embargo, durante el curso de este estudio se hizo evidente que la investigación sobre política científica y tecnológica no debe circunscribirse exclusivamente ni a tópicos científicos y tecnológicos, ni a aspectos políticos.

Los estudios de política científica y tecnológica se enfrentan a retos importantes, especialmente en países que buscan integrar la ciencia y la tecnología a objetivos de desarrollo. Dichos retos implican la identificación de demandas tecnológicas específicas de los diferentes grupos sociales en dichos países.

Al inicio de este libro se señalaba que en México el sector de la agricultura campesina está demandando atención y que el desarrollo de tecnologías agrícolas debería considerar los problemas relacionados con dicho sector. Sin embargo, a medida que avanzaba esta investigación se hizo patente que en realidad se tenía muy poco conocimiento de las necesidades tecnológicas de la agricultura campesina en México. No fue el propósito de este estudio realizar trabajo empírico para profundizar en la estructura y necesidades de la agricultura campesina. De ahí que se deban realizar otras investigaciones para conocer las prácticas agrícolas tradicionales, así como para identificar las necesidades tecnológicas de los campesinos. Mediante este conocimiento, más la consideración de la base de investigación biotecnológica que ha acumulado México, sería posible definir una estrategia tecnológica agrícola detallada para mejorar la agricultura campesina. Con esa base se podría evaluar el grado hasta el cual las tecnologías de la agricultura tradicional y convencional podrían integrarse con aquellas otras tecnologías desarrolladas a través de la biotecnología, y los pasos apropiados que se necesitan para lograr dicha integración.

Este objetivo podría alcanzarse solamente mediante la investigación interdisciplinaria que involucre tanto a campesinos, investigadores agrícolas, economistas, sociólogos, biotecnólogos y quienes formulan la política científica y tecnológica.

Finalmente, es importante hacer énfasis una vez más en que los problemas que enfrenta el sector agroalimentario en México, aun cuando plantean demandas científico-técnicas importantes, no necesariamente se resolverán por medio de tecnologías convencionales o desarrollos biotecnológicos. Las dificultades fundamentales que impiden que este sector produzca alimentos relevantes y suficientes para la población, radican en estructuras políticas y administrativas que incluso impiden que la experiencia tecnológica adquirida afecte de manera positiva.

En la definición de dicha estrategia biotecnológica para México, deberá considerarse que uno de los aspectos cruciales sigue siendo la creación de una estructura industrial que haga posible la aplicación de los procesos biotecnológicos generados por la investigación. Se requiere aún crear una competencia industrial que permita transferir los procesos tecnológicos generados en los centros de investigación al terreno industrial. Éste sigue siendo uno de los grandes retos para México en el campo biotecnológico, que se extiende también a otros campos de competencia tecnológica.

Dado el estado de desarrollo de la biotecnología que se encuentra en una etapa de transición (Pérez, 1986), se plantea la posibilidad para los países en desarrollo, y especialmente para aquellos que poseen ya ciertas capacidades científicas y técnicas en este campo, de impulsar un proceso endógeno de desarrollo de capacidad tecnológica. Dicho proceso significa que estos países definan las características que debe adquirir la tecnología, lo que no necesariamente implica la creación de dicha tecnología. Según Herrera (1981), este proceso de desarrollo tecnológico endógeno puede sustentarse en tecnología importada, si se comprueba que esa tecnología es apropiada a las necesidades internas del país en cuestión. Desde la perspectiva de Pérez (1986), esto permitiría el logro de una mayor autonomía en el uso del nuevo potencial en función de metas nacionales. Si México pretende generar un desarrollo biotecnológico endógenamente determinado, es necesario definir las áreas de interés, que deberían estar principalmente determinadas por el desarrollo de procesos biotecnológicos basados en sus recursos naturales y por su aplicación para satisfacer las necesidades alimentarias de su población.

Esto llevaría a orientar la biotecnología agroalimentaria hacia un nuevo modelo de investigación, diferente del enfoque predominante que reproduce el patrón occidental, y que no considera los problemas ni las prácticas de la economía campesina. El estudio de las prácticas agrícolas de los campesinos y su mejoramiento debería convertirse en uno de los pilares del desarrollo biotecnológico en México. Mediante el conocimiento de las prácticas tradicionales de cultivo, así como de las necesidades específicas de las economías campesinas, podrían integrarse los desarrollos tecnológicos convencionales con los que potenciarían las biotecnologías, y definir así las orientaciones relevantes para el desarrollo agrícola en el país.

Finalmente, cabría recordar que los problemas que confronta el sector agroalimentario en México, aun cuando plantean deman-

das científico-técnicas importantes, no se resuelven necesariamente con desarrollos tecnológicos convencionales ni biotecnológicos. Las dificultades fundamentales para hacer que este sector produzca alimentos relevantes y suficientes para la población, radican fundamentalmente en problemas políticos, económicos y administrativos que impiden, en última instancia, un impacto positivo de las capacidades tecnológicas adquiridas.

DE INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL
 QUE ESTE LIBRO SE ENCONTRA
 DONDE DEBE ENCONTRARSE
 EN LA

APÉNDICE

FRANCIA	Profesor de la Universidad	15-X-85
		15-X-85
FRIGERIANAM	Dr. José	15-X-85
	Msc. Emilio	15-X-85
	Msc. Luis	15-X-85
	Msc. Miguel	15-X-85
UNAM	Dr. Efraim	15-X-85
	Dr. Carlos	15-X-85
	Ing. Luis	15-X-85
	Dr. Fernando	15-X-85
	Dr. José	15-X-85
	Dr. Emilio	15-X-85
	Dr. Víctor	15-X-85
	Dr. Jorge	15-X-85
	Dr. Irma	15-X-85
	Dr. José	15-X-85
	Dr. César	15-X-85
	Dr. Hugo	15-X-85
ATLANTA	Dr. Emilio	15-X-85
	Msc. Emilio	15-X-85
	Msc. Emilio	15-X-85
ALABAMA	Dr. Emilio	15-X-85
	Dr. Emilio	15-X-85
	Dr. Emilio	15-X-85
	Dr. Emilio	15-X-85
	Dr. Emilio	15-X-85

LISTA DE ENTREVISTAS Y PERSONAS QUE RESPONDIERON EL CUESTIONARIO DURANTE EL TRABAJO DE CAMPO

Institución	Persona entrevistada	Fecha de la entrevista
CIIGEBI-UNAM	Dr. Javier Soberón	22-X-86
	Msc. Enrique Galindo	22-X-86
	Msc. Lidia Casas	22-X-86
	Msc. Miguel Salvador	22-X-86
CEFINI-UNAM	Dr. Francisco Lara	12-V-87
	Dr. Carlos Huitrón	12-V-87
CI-UNAM	Ing. Luis Francisco Vediguel	16-X-86
CIFC-UNAM	Dr. Fernando Bastarrachea	08-XII-86
CIT-UNAM	Dr. José Luis Solleiro	12-VI-87
FQ-UNAM	Dr. Estela Sánchez	14-X-89
	Dr. Víctor M. Loyola	07-X-86
	Dr. Jorge Vázquez	07-X-86
	Dr. Irma Bernal	07-X-86
	Dr. José Segura Jáuregui	10-X-86
	Dr. Carmen Durán de Bazúa	17-X-86
	Dr. Hermilo Leal-Lara	20-X-86
IB-UNAM	Dr. Ernesto Moreno	09-X-86
	Msc. Genoveva García	09-X-86
	Dr. Abraham Rubluo	09-X-86
IG-UNAM	Dr. Sergio Palacios	16-X-86
IIB-UNAM	Dr. Sergio Sánchez	13-X-86
	Msc. Pablo Pérez Gavilán	13-X-86
	Dr. Mario Díaz	13-X-86

	Msc. Susana Saval	21-X-86
	Dr. Carlos Aramburu	
IQ-UNAM	Dr. Manuel Jiménez Estrada	17-X-87
FMVZ-UNAM	Dr. Ricardo Navarro Fierro	18-V-87
CINVESTAV-DF	Dr. Fernando Esparza	14-XII-86
	Dr. Carlos Casas Campillo	29-X-86
	Dra. Mayra de la Torre	29-X-86
	Dr. Ignacio Magaña	29-X-86
	Msc. Vicente López Mercado	11-XII-86
	Msc. Ma. Teresa Ponce Loyola	11-XII-86
	Msc. Carlos Arias	11-XII-86
CINVESTAV-IR	Dr. Alejandro Blanco	19-IX-86
	Dr. Luis Herrera Estrella	19-IX-86
		20-XI-86
UAM-Ixtapalapa	Msc. Oscar Monroy	23-X-86
	Dr. Gustavo Viniegra	20-X-86
ENCB-IPN	Dra. Amanda Trujillo	28-X-86
	Dr. Ramón Cruz Camarillo	28-X-86
	Dra. Alicia Espinoza	28-X-86
	Dra. Ma. Valdés	28-X-86
	Msc. Juvencio Galíndez Mayer	28-X-86
	Msc. Humberto Hernández	28-X-86
	Dra. Thelma Villegas	28-X-86
CG-CPCH	Dr. Víctor Villalobos	10-IX-86
		12-XI-86
	Dra. Cristina López Peralta	25-XI-86
	Dr. Joaquín Ortiz Cereceres	18-XI-86
CE-CPCH	Dr. Ronald Ferrera Cerratos	02-XII-86
	Dr. Antonio Trinidad Santos	Cuestionario
	Dr. Roberto Núñez Escobar	Cuestionario
	Dr. J. Dionisio Etchevers	Cuestionario
	Ing. Roberto Quintero Lizaola	Cuestionario
CB-CPCH	Dra. Ma. Luisa Ortega Delgado	02-XII-86
	Sr. Josue Johashi Shibata	Cuestionario
CF-CPCH	Dr. Héctor González	22-V-87
DF-UACH	Dr. Remigio Madrigal	25-XI-86
F-INIA-UACH	Dr. Héctor Lozoya Saldaña	02-XII-86
FCB-AUNL	Msc. Ma. de los Angeles Peña	Cuestionario
ESCB-UABC	Q. José Luis Castañeda	Cuestionario
FQ-UAEM	IBQ. Juan García Ávila	Cuestionario
IMCyp-UGuad	Msc. Virgilio Zúñiga	12-IX-86
CIEAA-UGuad	Msc. Ronay Ocaña Camacho	Cuestionario

	Ing. Andrés Cano López	Cuestionario
CICTUS-US	Q. Gloria I. Ayala Astorga	Cuestionario
	Msc. Jesús Meza Valenzuela	Cuestionario
ITC	Dr. Jaime Maya Flores	Cuestionario
ITD	Dr. Hiram Medrano Roldán	Cuestionario
ITM	Msc. Miguel Cedeño Cruz	27-XI-86
	Dr. Enrique Sauri Duch	27-XI-86
	Ing. Alfredo Ortega	27-XI-86
ITS	QBP. Roberto Marcor Moraz	Cuestionario
	Ing. Anacleto Félix Fuentes	Cuestionario
	Ing. Ma. Mercedes Mezaos M.	Cuestionario
	Lic. Gustavo Alonso Leyva	Cuestionario
	Biol. Cuauhtémoc Ibarra Gámez	Cuestionario
ITV	Msc. José Joel Espinoza de los M.	26-II-87
	Msc. Francisco José Alarcón	Cuestionario
	Msc. Jesús Ofelia Angulo	Cuestionario
CIATEJ	Ing. Ricardo Michel	12-IX-86
CICY	Dr. Manuel Robert Díaz	26-XI-86
	Dr. Víctor Loyola	26-XI-86
	Dr. Keith Scorer	26-XI-86
	Msc. Jesús Quiroz	27-XI-86
	Dr. Jorge Reyes	26-XI-86
CIQA	QBF. Yolanda Martínez	Cuestionario
	Biol. Mario Humberto Quiroz	Cuestionario
LANFI	Ing. Graciano Casarrubias	04-XII-86
IMP	Ing. Javier Hebrero	13-V-87
	Ing. Felipe Márquez Cortés	13-V-87
	Dr. Javier Ladrón de Guevara	13-V-87
INIFAP	Dr. Ramón Claverán Alonso	14-V-87
CAE-Z-INIFAP	Msc. Ricardo Méndez Salas	19-V-87
FLOR-CONAFRUT	Ing. Alfonso Ochoa	19-VI-87
Azúcar, S.A.	Ing. Carlos Morrill	20-V-87
IMECAFE	Lic. Ma. Lourdes Oliva Fuentes	Cuestionario
IMETA	Dra. Eugenia Olguín	03-VI-87
INIREB	Dr. Gastón Guzmán	26-II-87
	Msc. Daniel Martínez Carrera	Cuestionario
CIMMYT	Dr. Abdul Kazi	25-V-87
	Dr. Margaret Smith	26-V-87
	Dr. Jim Deutsh	26-V-87
COSNET	Dr. Saúl Villatreviño	05-VI-87
SECOFI	Ing. Eduardo Caro Bueno	11-VI-87
	Ing. Ma. Antonieta Esparza	11-VI-87

SEMIP	Ing. Rogelio Magaña	10-VI-87
CONACYT	Ing. J. Elizondo	10-VI-87
	Ing. A. Capallera	15-IX-87
UNIDO	Dr. Rodolfo Quintero	21-V-87
BIOGEMEX	Dr. Alfredo Gallegos	09-VI-87
BIOQUIMEX	Dr. Fernando García	10-VI-87
DESC	Dr. Francisco Medina	18-VI-87
FERMEX	Ing. Francisco López Mota	17-VI-87
CM-OAX	Ing. Raymundo Enríquez	06-VI-87

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 3.1	Unidades de investigación en biotecnología vegetal	70
CUADRO 3.2	Unidades de investigación no incluidas en biotecnología vegetal	73
CUADRO 3.3	Campos de investigación en biotecnología vegetal	74
CUADRO 3.4	Áreas de investigación en biotecnología de plantas y especies investigadas	77
CUADRO 3.5	Micropropagación y conservación de germoplasma	78
CUADRO 3.6	Mejoramiento genético	82
CUADRO 3.7	Cultivo industrial de tejidos vegetales	85
CUADRO 3.8	Estudios básicos en biotecnología vegetal	88
CUADRO 3.9	Instituciones de investigación en fijación biológica del nitrógeno	89
CUADRO 3.10	Recursos humanos en biotecnología vegetal	94
CUADRO 3.11	Biotecnología vegetal: apoyo financiero de CONACYT. 1984-1987	98
CUADRO 3.12	Biotecnología de plantas: vinculación con el sector productivo	104

CUADRO 4.1	Unidades de investigación en biotecnología agroindustrial	118
CUADRO 4.2	Unidades de investigación en biotecnología agroindustrial, no incluidas	121
CUADRO 4.3	Campos de investigación en biotecnología agroindustrial	123
CUADRO 4.4	Residuos agrícolas y subproductos agroindustriales por grupos de sustratos investigados	125
CUADRO 4.5	Biotecnología agroindustrial: residuos, subproductos y productos finales que se obtendrán	126
CUADRO 4.6	Investigación biotecnológica con sustratos formados por carbohidratos	128
CUADRO 4.7	Investigación biotecnológica con residuos lignocelulósicos	136
CUADRO 4.8	Investigación biotecnológica con otros subproductos y residuos	144
CUADRO 4.9	Biotecnología agroindustrial: recursos humanos	152
CUADRO 4.10	Biotecnología agroindustrial: infraestructura de equipo	155
CUADRO 4.11	Biotecnología agroindustrial: fuente de financiamiento	158
CUADRO 4.12	Biotecnología agroindustrial: apoyo financiero de CONACYT. 1984-1987	160
CUADRO 4.13	Biotecnología agroindustrial: otras fuentes de financiamiento nacionales e internacionales	161
CUADRO 4.14	Biotecnología agroindustrial: vinculaciones con el sector productivo	164

CUADRO 6.1	Gasto total de CONACYT en investigación científica. 1991	216
CUADRO 6.2	Gasto total de CONACYT en investigación científica. 1991	217
GRÁFICA 6.1	Proyectos de investigación en biotecnología financiados por CONACYT. 1991	223
GRÁFICA 6.2	Proyectos de investigación en biotecnología financiados por CONACYT. 1992.	223
GRÁFICA 6.3	Fortalecimiento a la infraestructura en biotecnología por CONACYT. 1991	224
GRÁFICA 6.4	Fortalecimiento a la infraestructura en biotecnología por CONACYT. 1991	224
CUADRO 6.3	Instituciones apoyadas en proyectos de investigación en biotecnología 1991-1992	225

Anches, W y J. E. Casicolaro. (1985). *Biotecnología: sus impactos en el sector industrial*, CNPq, Brasília, Brasil.

Arias, G. (1986). entrevista personal. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV, Mérida, Yucatán, México.

Arias, S. (1987). *Biotecnología: una nueva industria y el fortalecimiento del sistema de granos básicos de la zona de crecimiento de la zona del Programa de Seguridad Alimentaria*. (1987). *Seguridad Alimentaria*, junio 25, México.

Arroyo, G. (1988). "El desarrollo de la biotecnología en el sector de la agricultura y la agroindustria: un desafío para la formación de regiones, empresas y agricultores", *7^o Simposio Nacional de Biotecnología*, R. Rivas y F. Rello (eds.), *Biología y Tecnología en México Latina*, UNAM, México.

Arroyo, G. y S. Arias (1986). *Estadísticas de la producción científica y tecnológica en México*, UNAM, México.

Arroyo, G. y M. Washburn (1987). *El sector agrícola: una política de desarrollo tecnológico en la producción agroindustrial de la agroindustria de México*, CENSA, México.

Arroyo, G., E. Casas, E. Chacón y J. E. Casicolaro (1987). *Biotecnología y el problema alimentario en México*, *Estudios de Biotecnología*, UNAM, México.

Asociación Interdisciplinaria (1984). *Revisión de Biotecnología*, vol. 1, julio, CONICIT, Costa Rica.

BIBLIOGRAFÍA

- Acard (Advisory Council for Applied Research and Development) (1980), *Biotechnology: Report of Joint Working Party of ACARD and Advisory Board for the Research Councils and Royal Society*, Londres.
- Alzati, F. (1992), "Intervención del director general del Conacyt", en *Memoria de la Reunión de Instalación del Comité Nacional de Concertación para la Modernización Tecnológica*, 29 de junio, México.
- Ançiaes, W y J.E. Cassiolato, (1985), *Biotecnología. Seus impactos no setor industrial*, CNPq, Brasilia, Brasil.
- Arias, C. (1986), entrevista personal, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV, 11 de diciembre, México.
- Arias, S. (1987), *Biotecnología: una estrategia para su introducción en el sistema de granos básicos de la región*, reporte de un consultor, Programa de Seguridad Alimentaria-CADESCA-EEC, abril 26-junio 20, México.
- Arroyo, G. (1986), "El desarrollo de la biotecnología: desafíos para la agricultura y la agroindustria", en *Revolución tecnológica y empleo. Biogenética y agricultura*, STPS-ILO, México, pp. 23-54.
- Arroyo, G., R. Rama y F. Rello (1985), *Agricultura y alimentos en América Latina*, UNAM-ICI, México.
- Arroyo, G. y S. Arias (1986), *Biotecnología: perspectivas de la industria azucarera en México*, UAM-Xochimilco, marzo, México.
- Arroyo, G. y M. Waissbluth (1987), *Bases para una política de desarrollo biotecnológico en la producción agropecuaria, forestal y alimentaria de México*, CEPAL, México.
- Arroyo, G., R. Casas, K. Chambille y G. Escudero (1989), *La biotecnología y el problema alimentario en México*, Plaza y Valdés/UAM-Xochimilco, México.
- Asociación Interciencia (1984), *Boletín de Biotecnología*, vol. 1, núm. 1, julio, CONICIT, Costa Rica.

- Ávalos, I. y H. Viana (1985), *Bases para la elaboración de indicadores de medición de la capacidad tecnológica*, CENDES, marzo, Caracas, Venezuela.
- Ávalos, I. y H. Viana (1986), *Bases para la elaboración de indicadores de capacidad tecnológica en el área microelectrónica*, CENDES, diciembre, Caracas, Venezuela.
- Baltimore, D. (1982), "Priorities in Biotechnology", en National Academy of Sciences, *Priorities in Biotechnology*, Board of Science and Technology for International Development, National Academy Press, Washington.
- Barkin, D. (1977), "Desarrollo regional y reorganización campesina", *Comercio Exterior*, vol. 27, núm. 12, diciembre, México.
- Barkin, D. (1982a), "El uso de la tierra agrícola en México", *Problemas del desarrollo*, vol. XII, enero, México.
- Barkin, D. (1982b), *El fin de la autosuficiencia alimentaria*, CECODES-Nueva Imagen, 1a. edición, México
- Barkin, D. y B. Suárez (1982), *El fin del principio. Las semillas y la seguridad alimentaria*, Centro de Ecodesarrollo, Ed. Océano, México.
- Bastarrachea, F. (1986), entrevista personal, Instituto de Investigaciones en Fisiología Celular, UNAM, 8 de diciembre, México.
- Beech, G.A., M.A. Melvin y J. Taggart (1985), "Food, drink and biotechnology", en Higgins, I.J., D.J. Best y J. Jones, *Biotechnology: principles and applications*, Blackwell Scientific Publications, Oxford-Londres-Edinburgo, pp. 97-98
- Best, D.J., J. Jones y D. Stafford (1985), "The environment and biotechnology", en Higgins, I.J. *op. cit.*, capítulo 6, pp. 213-256
- Blanco, A. (1986), entrevista personal, CINVESTAV-Irapuato, 19 de septiembre, Irapuato.
- Biotechnology and Development Monitor (1989), núm.1, Ministry of Foreign Affairs y University of Amsterdam, Holanda.
- Biotechnology and Development Monitor (1990), núms. 2 y 3, Ministry of Foreign Affairs y University of Amsterdam, Holanda.
- Boletín de Biotecnología (1990), vol. 7, núm. 1, CONICIT, San José, Costa Rica.
- Boletín de Biotecnología (1991), vol. 8, núm. 2, CONICIT, San José, Costa Rica.
- Bull, A.T., G. Holt y M.O. Lilly (1982), *International trends perspectives in biotechnology: a state of the art report*, OCDE, París.
- Bunge, M. (1982), "La comunidad científico-técnica y la elección del modelo de desarrollo", en Aguilera, M., V. Rodríguez

- Lemoine y L. Yerro (eds.) (1982), *La participación de la comunidad científica frente a las alternativas de desarrollo*, ASOVAC, Condal Editora, Barcelona.
- Buttel, F. H. (1986), "Biotechnology and the future of agricultural research and development in Latin America and the Caribbean", ponencia presentada en el *Seminario: Temas prioritarios y mecanismos de cooperación en la investigación agrícola en América Latina y el Caribe*, CIAT, 26 de agosto, Cali, Colombia.
- Buttel, F.H. y J.T. Cowan (1990), "La biotecnología en el contexto internacional", en B. Suárez, (coord.), *¿Biotecnología para el progreso de México?*, Centro de Ecodesarrollo, México, pp. 11-46.
- Buttel, F. y M. Kenney (1985), "Biotechnology and international development: prospects for overcoming dependence in the information age", *Bulletin 143*, Department of Rural Sociology, marzo, Cornell University.
- Buttel, F., M. Kenney y J. Kloppenburg (1985a), "From Green Revolution to Biorevolution: Some observations on the changing technological bases of economic transformation in the Third World", *Economic Development and Cultural Change*, vol. 34, núm.1, octubre, pp. 31-55.
- Buttel, F., M. Kenney y J. Kloppenburg (1985b), "The IARCs and the development and application of biotechnologies in developing countries", *Biotechnology in international agricultural research*, International Rice Research Institute, Manila, pp. 383-394.
- Caballero, E. y F. Zermeño (1981), "SAM: Utopía y realidad", *Economía Informa*, núm. 77, Facultad de Economía, UNAM, México.
- Calva, J. L. (1988), *Crisis agrícola y alimentaria en México, 1982-1988*, Fontanamara, 54, México.
- Calva, J. L. (1991), *Probables efectos de un Tratado de Libre Comercio en el campo mexicano*, Fontanamara, 134, México.
- Capallera, A. (1987), entrevista personal, Dirección de Desarrollo Tecnológico, CONACYT, 15 de septiembre, México.
- Caro, E. (1987), entrevista personal, Subsecretaría de Inversiones Extranjeras y Transferencia de Tecnología, SECOFI, 11 de junio, México.
- Carrasco, A. (1982), "Ejercen las transnacionales control en alimento para ganado", *Excelsior*, 11 de junio, México.
- Carrizales, V. y W. Jaffe (1986), "Solid State Fermentation: an appropriate technology for developing countries"; *Interciencia*, vol. 11, núm. 1, enero-febrero.

- Carvalho Garnica, S. (1987), "Planeación estratégica e innovación tecnológica en la agroindustria: el caso de una empresa basada en la biotecnología", en *La agroindustria en México*, UACH, México, pp. 808-815.
- Casas-Campillo, C. (1978), "Fermentation research in Latin America", en *Programme GIAM V: Global impacts of applied microbiology*, ONUD/UNESCO/ICRO, Kuala Lumpur.
- Casas-Campillo, C. (1979), "Generation and transfer of biotechnology for development", en *Procedures of the 29th Pugwash Conference on Science and World Affairs*, 18 al 23 de julio, México.
- Casas-Campillo, C. (1983), "Aspectos del desarrollo de la biotecnología en México", ponencia presentada en la reunión sobre *Biotecnología: Estado actual, tendencias y perspectivas futuras en Latinoamérica y área del Caribe*, diciembre, Washington.
- Casas-Campillo, C. (1986), entrevista personal, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, 29 de octubre, CINVESTAV, México.
- Casas-Campillo, C. A. Ortiz, y S. Larrea (1972), "Obtención de proteína de origen celular utilizando levaduras que asimilan metanol y etanol", *Revista de la Sociedad Química de México*, vol. 16, núm. 50.
- Casas, R. (1985), *El Estado y la política de la ciencia en México: 1935-1970*, Cuadernos de Investigación Social, núm. 11, Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, México.
- Casas, R. y C. Ponce (1986), *Institucionalización de la política gubernamental de ciencia y tecnología en México: 1970-1976*, Taller de Investigación, núm. 1, IIS-UNAM, México.
- CCC (1990), *Biotecnología*, documento interno, Consejo Consultivo de Ciencias, México.
- CCC (1991), Medio ambiente, documento interno, Consejo Consultivo de Ciencias, México.
- CEFINI (1986), *Informe de Labores del Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno*, UNAM, México.
- CEPAL (1973), *Plan de Acción Regional para la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología al Desarrollo de América Latina*, CEPAL/FCE, México.
- CIIGEBI (1985), Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM, México.
- CINVESTAV (1983), *Actividades del CINVESTAV-IPN 1982-1983*, México.
- CIT (1986), "Balance de actividades hasta 1986", Centro para la Innovación Tecnológica, UNAM, México.

- Clark, N. (1979), "Institution building for Science Policy in a Developing Country", versión revisada de la ponencia presentada en el *XI World Congress of the International Political Science*, Universidad de Glasgow, Escocia, septiembre.
- COMUNIFAP (1986), "El titular de Agricultura se entrevistó con becarios del INIFAP en la Universidad de California", núm. 3, abril, México.
- CONACYT (1985), "Apoyos brindados en el marco del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico en 1984", *Ciencia y Desarrollo*, núms. 61 y 62, México.
- CONACYT (1986), "Apoyos brindados en el marco del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico en 1985", *Ciencia y Desarrollo*, núms. 68 y 69, México.
- CONACYT (1987), "Apoyos brindados en el marco del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico", *Ciencia y Desarrollo*, núms. 74 y 75, mayo-agosto, México.
- CONACYT (1988), "Apoyos brindados en el marco del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico", *Ciencia y Desarrollo*, núms. 79 y 81, marzo-abril y julio-agosto, México.
- CONACYT (1991), *Padrón de Programas de Posgrados de Excelencia para Ciencia y Tecnología*, CONACYT, México.
- COPLAMAR (1982), *Necesidades esenciales en México. Alimentación*, COPLAMAR- Siglo XXI Eds., México.
- Corona, L. (1982), *Universidades en la política científica y tecnológica*, reporte final, México, julio (inédito).
- Corona, L. (1983), *Prospectiva tecnológica en América Latina, Área núm. 4: Economía política de la ciencia y la tecnología*, reporte preliminar, México, diciembre.
- Correa, C.M. (1990), "Patentes y biotecnología: opciones para América Latina", *Revista de Derecho Industrial*, año 12, núm. 34, enero-abril, Buenos Aires, pp. 5-53.
- COSNET (1983), *Catálogo de la investigación en tecnología de alimentos*, COSNET-SEP, México.
- COSNET (1984a), *Catálogo de la investigación en biotecnología y bioingeniería*, COSNET-SEP, México.
- COSNET (1984b), *Potencial para el desarrollo de la ingeniería genética: Catálogo 1984*, COSNET-SEP, México.
- Cruz Camarillo, R. (1986), entrevista personal, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, 28 de octubre, México.
- Dagnino, R. (1986), Comentarios expresados en la *Reunião Latino-Americana: Biotecnologia, Produção Agrícola e Recursos Naturais Renováveis*, UNICAMP, 16-18 abril, Campinas, Brasil.

- Dahlam, C.J. (1984), "Foreign technology and indigenous technological capability in Brazil", en Fransman, M. y K. King (eds.) (1984), *Technological capability in the Third World*, MacMillan, Londres, pp. 317-334.
- De Groot, C. (1990), "UNIDO activities", *Biotechnology and Development Monitor*, núm. 3, junio, pp. 18-19.
- De la Torre, M. (1981), "Producción de proteínas a partir de residuos lignocelulósicos", *Ciencia y Desarrollo*, vol. VII, núm. 37, México, pp.11-116.
- De la Torre, M. (1985), "Aprovechamiento de esquilmos agrícolas y residuos agroindustriales", en Quintero, R. (ed.), *Prospectiva de la biotecnología en México*, Fundación Javier Barros Sierra-CONACYT, México, pp. 219-234.
- De la Torre, M. (1986), entrevista personal, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV, 11 de noviembre, México.
- Del Valle, S. (1982), "Agricultura e intervención estatal", *Problemas del Desarrollo*, vol. XIII, núm. 51-52, enero, México, pp.103-140.
- Dembo, D., C. Dias y W. Morehouse (1985), "Social impacts in developing countries of the privatization of biotechnology", en *Social, economic and legal aspects of biotechnology in Brazil*, Brasilia (mimeo.).
- Diario Oficial* (1987), núm. 11, 16 de enero, Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, México.
- Díaz Polanco, H. (1981), "Productivismo y estrategia alimentaria", *Nueva Antropología*, núm. 17, mayo, México, pp. 135-156.
- Díaz, E., Texera, Y. y H. Vessuri (eds.), (1984), *La ciencia periférica. Ciencia y sociedad en Venezuela*, Monte Avila Editores, C.A. Caracas, Venezuela.
- Dos Santos, T. (1979), "La tecnología y la reestructuración capitalista: opciones para América Latina", *Comercio Exterior*, vol. 29, núm. 12, diciembre, México.
- Echenique, J. (1978), "Las disyuntivas de la producción agropecuaria", *El Economista Mexicano*, vol. XII, núm. 5, septiembre-octubre, Colegio Nacional de Economistas, S.C., México.
- Elizondo, J. (1987), entrevista personal, Dirección de Planeación, CONACYT, 10 de junio, México.
- El Día* (1983), "Programa Nacional de Alimentación", *Testimonios y Documentos*, 25 de octubre, México.
- El Financiero* (1986), "Buscan socios aquí empresas galas de desarrollo biotecnológico", 12 de septiembre, México.

- El Financiero* (1987), "Concertará Soberón en Nueva York la creación de un centro de biotecnología", 4 de noviembre, México.
- El Financiero* (1992), "Incierto panorama mexicano ante las tendencias futuras del desarrollo de la tecnología: CONACYT", 23 de abril, p. 40, México.
- El Financiero* (1992), "En marcha, el FIDETEC; créditos por 7 mil mdd a proyectos", 4 de febrero, p. 36, México.
- El Financiero* (1992), "Otorga el BM crédito por 189 mdd a programa de CONACYT", 16 de junio, p. 36, México.
- Enríquez, R. (1987), entrevista personal, Instituto Tecnológico de Oaxaca, 6 de junio, Oaxaca.
- Esparza, F. (1986), entrevista personal, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV-DF, 14 de noviembre, México.
- Esparza, M.A. (1987), entrevista personal, Subsecretaría de Inversiones Extranjeras y Transferencia de Tecnología, SECOFI, 11 de junio, México.
- Esteva, G. (1978), "Optimización y estrategia agropecuaria: Las peras del olmo", *El Economista Mexicano*, vol. XII, núm. 5, El Colegio Nacional de Economistas, México.
- Esteva, G. (1982), "Las transnacionales y el taco", en *El Desarrollo agroindustrial y la economía internacional*, documentos de trabajo para el desarrollo agroindustrial, núm. 1, SARH, México.
- Excelsior* (1987), "Biotecnología, opción de desarrollo", 22 de octubre, México.
- FAO-OMS (1975), "Manual sobre necesidades nutricionales del hombre", *Estudios sobre nutrición*, núm. 28, Roma.
- FAO (1989-1990), *Catálogo regional de laboratorios de biotecnología vegetal (CATBIO)*, Encuesta Regional, Oficina Regional para América Latina, Santiago de Chile.
- FAST (1980), *Science and technology policy*, subprograma de FAST sobre Biosociedad, Bruselas.
- FAST (1982), *The FAST Programme: Results and Recommendations*, vol. I, septiembre, Bruselas.
- Ferrara-Cerrato, R. (1985), *Estado actual de la investigación sobre fijación biológica del nitrógeno*, II Reunión Latinoamericana sobre Rhizobium, Campinas, Brasil.
- Fransman, M. y K. King (1984), *Technological Capability in the Third World*, Macmillan Press, Londres.
- Fuentes Aguilar, L. (1983), "Subnutrición y deterioro", *Problemas del Desarrollo*, núm. 51-52, agosto-enero, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, pp. 141-166.

- Fuenzalida, E. (1971), *Investigación científica y estratificación internacional*, Ed. Andrés Bello, Santiago de Chile.
- Fuenzalida, E. (1982), "Responsabilidad de la comunidad científica en la determinación e implementación del estilo de desarrollo nacional", en Aguilera, M., V. Rodríguez Lemoine y L. Yerro (eds.) (1982), *La participación de la comunidad científica frente a las alternativas de desarrollo*, ASOVAC, Condal Editora, Barcelona.
- Gaceta UNAM* (1987), "Se promoverá la tecnología de la UNAM entre las empresas", 26 de noviembre, México.
- Galindo, E. (1988), "Biotecnología, alcances y perspectivas", *Ciencia y Desarrollo*, mayo-junio, México.
- Gallegos, A. (1987), entrevista personal, Biogenética Mexicana S.A., 9 de junio, México.
- García de la Fuente, A. (1982), "Inversión extranjera y empresas transnacionales en la agroindustria: alternativas para su regulación", en Echeverría, R. (coord.), *Transnacionales, agricultura y alimentación*, Colegio Nacional de Economistas-Nueva Imagen, México, pp. 183-212.
- García, J. (1982), *La investigación en el campo de la salud en once países de América Latina*, Dirección de Recursos Humanos e Investigación, OMS, Washington.
- Garfield, E. (1983), "Third World Research", partes I y II, *Current Contents*, núms. 33 y 34, agosto, pp. 5-15 y pp. 5-16.
- Giddings, L.V. y G. Persley (1990), *Biotechnology and Biodiversity*, estudio preparado para el PNUMA, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 12 de octubre, Nairobi.
- Goldstein, D. (1985), "Problemas para el desarrollo de una biotecnología autónoma para América Latina", ponencia presentada en el taller de *Planeación sobre biotecnologías y sistemas alimentarios*, Centre for U.S.-Mexican Studies/ECLA, 18-19 de noviembre, La Jolla, Cal.
- Goldstein, D. (1989), "A Biotechnological Agenda for the Third World", *Journal of Agricultural Ethics*, vol. 2, pp. 37-51.
- González Rodríguez, O. (1978), "Vida, pasión y muerte de un modelo agropecuario mexicano", *El Economista Mexicano*, vol. XII, núm. 5, septiembre-octubre, El Colegio Nacional de Economistas, S.C., México.
- Goodman, D.E. (1984), "Biotechnology and Agriculture: A preliminary survey of implications for developing countries", reporte de un consultor, *Social Impacts of Development Project*, OIT/PNUD/CNRH, Brasilia, Brasil.

- Grau, O. (1985), "Un nuevo enfoque para la cooperación regional en biotecnología: el programa regional latinoamericano en biotecnología", ponencia presentada en el taller sobre *Planeación sobre biotecnologías y sistemas alimentarios*, Centre for U.S.-Mexican Studies/CEPAL, 18-19 de noviembre, La Jolla, Cal.
- Guzmán, G. (1987), entrevista personal, INIREB, 26 de febrero, Xalapa.
- Guzmán, G. y D. Martínez-Carrera (1985), "Planta productora de hongos comestibles sobre pulpa de café", *Ciencia y Desarrollo*, núm. 65, pp. 41-48.
- Guzmán Ferrer, M. L. (1975), "Coyuntura actual de la agricultura mexicana", *Comercio Exterior*, vol. 25, núm. 5, mayo, México.
- Hacking, A.J. (1986), *Economic aspects of Biotechnology*, Cambridge Studies in Biotechnology, Cambridge University Press, Gran Bretaña.
- Hebrero, J. (1987), entrevista personal, Instituto Mexicano del Patrón, 13 de mayo, México.
- Herrera, A. (1970), *Ciencia y tecnología en el desarrollo de la sociedad*, Ed. Universitaria, Santiago de Chile.
- Herrera, A. (1971), *Ciencia y política en América Latina*, Siglo XXI Eds., primera edición, México.
- Herrera, A. (1975), *Ciencia y política en América Latina*, Siglo XXI Eds., México.
- Herrera, A. (1986), comentarios expresados en la *Reunión Latinoamericana: biotecnología, producción agrícola e recursos naturales renovables*, 16-18 abril, Campinas, Brasil.
- Herrera Estrella, L. (1986), entrevista personal, INVESTAV-Irapuato, 20 de noviembre, México.
- Hewitt, C. (1978), *La modernización de la agricultura mexicana*, Siglo XXI Eds., 4a. edición, México.
- Higgins I.J., *op. cit.* (1985), *Biotechnology. Principles and applications*, *op. cit.*, capítulo 1, pp. 1-23.
- Hobbelink, H. y G. Ruivenkamp (1986), "Biotecnología y Tercer Mundo: Desenmascaramiento de una nueva promesa", *Revista de CIDOB, D' Afers Internacionals*, invierno, Barcelona.
- Huitrón, C. (1987), entrevista personal, Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno, UNAM, 12 de mayo, Cuernavaca.
- IB (1991), *Informe de Labores del Instituto de Biotecnología*, UNAM, Cuernavaca.
- ICLD (1984), "Law and Biotechnology. A Mexican workshop", Council of International and Public Affairs and International Center for Law in Development, 23-25 de febrero, Tepoztlán.

- ICI-CAICT (1985), *Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. V Centenario (CYTED-D)*, Comisión Nacional para la Conmemoración del V Centenario del Descubrimiento de América, Madrid.
- IFIAS (1989), "International Symposium on Biotechnology for Sustainable Development", 26 de febrero-3 de marzo, Nairobi, Kenya.
- IFIAS (1990), International Diffusion of Biotechnology Symposium, "Biotechnology and International Trade: 1992 and Beyond", 20-22 de junio, Maastricht, Holanda.
- IFIAS (1991), "Symposium on property rights, biotechnology and genetic resources", ACTS-IFIAS-WRI, 10-15 junio, Nairobi, Kenya.
- IRRI (1985), *Biotechnology and International Agricultural Research*, Filipinas.
- Ita, S. y C. Juma (1989), "In search of a new regime for protecting innovations", en Juma, C. y J.B. Ojwang (1989), *Innovation and Sovereignty. The patent debate in Africa development*, ACTS, Kenya.
- Juma, C. (1989), *The Gene Hunters. Biotechnology and the scramble for seeds*, Princeton Univ. Press/ACTS, Londres-Nueva York, pp. 149-169.
- Junne, G. (1986), "Nuevas tecnologías: una amenaza para las exportaciones de los países en desarrollo", *Revolución tecnológica y empleo. Efectos sobre la división internacional del trabajo*, STPS-OIT, México, pp. 41-66.
- Junne, G. (1990), "Takeover of Genentech. Lessons for Developing Countries", *Biotechnology and Development Monitor*, núm. 3, junio, pp. 3-5.
- Kaplan, M. (1972), *Política científica y ciencia política*, Ed. Ciencia Nueva, Buenos Aires.
- Kaplinsky, R. (1984), "Trade in Technology. Who, What, Where and When?", en Fransman, M. y K. King (eds.) (1984), *op. cit.* pp. 139-160.
- Katz, J. (1984), "Technological innovation, industrial organisation and comparative advantages of Latin America Metalworking Industries", en Fransman, M. y K. King (eds.) (1984), *op. cit.*, pp. 113-136.
- Katz, J. y E. Ablin (1978), "From infant industry to technology exports: The Argentine experience in the international sale of industrial plants and engineering works", BID-CEPAL, documento de trabajo, núm. 14, Buenos Aires, Argentina.

- Katz, J. y R. Cibotti (1976), *The framework for a Latin American scientific and technological research programme*, BID-CEPAL Technical Cooperation Agreement, Buenos Aires, Argentina, 9 de agosto.
- Kenney, M. (1982), "Biotechnology: Part of a solution to the current crisis of capitalism?", *Bulletin* núm. 126, Department of Rural Sociology, Cornell University, EUA.
- Kenney, M. (1984), "Some observations of the structure of the U.S. and Japanese biotechnology industries", Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, Ohio State University, octubre.
- Kenney, M. y F. Buttel (1985), "Biotechnology: prospects and dilemmas for Third World development", *Development and Change*, vol. 16, pp. 61-91.
- Kenney, M. (1986), *Biotechnology. The university-industrial complex*, Yale University Press, New Haven, EUA.
- Knockenbauer (1990), "La modernización del agro en México", *Comercio Exterior*, vol. 40, núm. 9, México, septiembre, pp. 830-837.
- Ladrón de Guevara, J. (1987), entrevista personal, Departamento de Agroquímica, Instituto Mexicano del Petróleo, 13 de mayo, México.
- Leal-Lara, H. (1985), "La utilización microbiológica de desperdicios lignocelulósicos", en Quintero, R. (ed.), *Prospectiva de la biotecnología en México, op. cit.*, pp. 93-114.
- Leite Lopes, J. (1970), "La ciencia, el desarrollo y el Tercer Mundo", en Herrera, A. (ed.) (1970), *Ciencia y tecnología en el desarrollo de la sociedad*, Ed. Universitaria, Santiago de Chile.
- Lipton, M. (1978), "The Technology, the System and the Poor", *Development Research Digest*, núm. 2, otoño.
- Litchfield, J.H. (1984), "Single-Cell Proteins", en Abelson, P.H., *Biotechnology and Biotechnological Frontiers, Special Number of Science*, A.A.A.S., pp. 269-283.
- Logan, S., H. Carter y L. Lohr (1987), "Agricultural policy implications of biotechnology", *California Agriculture*, núm. 41, pp. 20-21.
- Lomnitz, L. y J. Fortes (1981), *Ideología científica y difusión de la ciencia*, Cuadernos de Extensión Universitaria, UNAM, México.
- López Mercado, V. (1986), entrevista personal, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV, 15 de diciembre, México.
- López Mota, F. (1987), entrevista personal, director técnico de FERMEX, 17 de junio, México.

- Loubet, E. (1980), "Investigaciones agrícolas en México", *Ciencia y Desarrollo*, núm. 33, CONACYT, México.
- Loyola, V. (1986), entrevista personal, Departamento de Bioquímica Vegetal, Facultad de Química, UNAM, 7 de octubre, México.
- Lozoya, H. (1985a), "Micropropagación en especies herbáceas", en Robert, M. y V.M. Loyola (ed.), *El cultivo de tejidos vegetales en México*, CICY-CONACYT, México, pp. 65-79.
- Lozoya, H., (1985b), "Micropropagación vegetal", *Ciencia y Desarrollo*, núm. 65, CONACYT, México.
- Márquez Ayala, D. (1982), "Las empresas transnacionales y sus efectos en el consumo alimentario", en Echeverría, R. (coord.), *Transnacionales, agricultura y alimentación*, Colegio Nacional de Economistas, Ed. Nueva Imagen, México, pp. 213-224.
- Martínez, I., I. Restrepo y C. Zamora (comps.), (1977), *Alimentación básica y desarrollo agroindustrial*, FCE, México.
- Maxwell, P. (1976), "Learning and technical change in the steel plant of ACINDAR, S.A. in Rosario, Argentina", BID-CEPAL, documento de trabajo, núm. 4, Buenos Aires, Argentina.
- Medina Gómez, F. (1987), *La biotecnología en México. Perspectivas empresariales para la industria de procesos*, ponencia presentada en el Comité Permanente Nacional sobre Tecnología, IMIQ, México.
- Michel, R. (1986), entrevista personal, CIATEJ, 12 de septiembre, Guadalajara.
- Montes de Oca (1982), "Las empresas transnacionales en la industria alimentaria", en Echeverría, R. (coord.), *Transnacionales, agricultura y alimentación*, Colegio Nacional de Economistas-Nueva Imagen, México, pp. 69-134.
- Montes de Oca, R.E. y G. Escudero (1981), "Las empresas transnacionales en la industria alimentaria mexicana", *Comercio Exterior*, vol. 31, núm. 9, septiembre, México, pp. 986-1009.
- Montes de Oca, R.E. y F. Rello (1982), "Hacia un proyecto alimentario diferente. Lineamientos, obstáculos y perspectivas", *Comercio Exterior*, vol. 32, febrero, México.
- Morehouse, W. y D. Dembo (1984), *Transnational Corporations in Biotechnology*, reporte de un consultor de UN/CTC, Centro de Naciones Unidas sobre Corporaciones Transnacionales, Nueva York.
- Morrison, R.S. (1982), "Needs, Leads and Indicators", *Science, Technology and Human Values*, núm. 38, invierno, pp. 5-13.
- Morril, C. (1987), entrevista personal, Instituto para el Mejoramiento del Azúcar, Azúcar S.A., 20 de mayo, México.

- Mújica Vélez, R. (1982), "Sector agrícola. ¿Rigidez o flexibilidad estructural?", *Problemas del Desarrollo*, vol. XIII, núms. 51-52, agosto-enero, México, pp. 9-44.
- Nadal, A. (1977), *Instrumentos de política científica y tecnológica*, Centro de Estudios Económicos y Demográficos, El Colegio de México, México.
- National Academy of Sciences (1982), *Meeting on Biotechnology Research Priorities for International Development*, Washington.
- Nayar, B.R. (1983), *India's quest for technological independence*, vol. I, Lancers Publishers, Nueva Delhi.
- Nolasco, M. y C. Zamora (1977), "La dieta básica para el consumo nacional", en Martínez, I. et al. (comp.), *Alimentación básica y desarrollo agroindustrial*, FCE, México, pp. 35-49.
- Olguín, E. (1978), *Appropriate Technology. The case of single cell protein and biological upgrading of wastes*, Research Fellow Report, University of Aston, Technology Policy Unit, Birmingham, Inglaterra.
- ONU (1990), *Genetic Engineering and Biotechnology Monitor*, núm. 30, septiembre, Viena, p. 11.
- OPS-OMS (1983), *Seminario sobre el estado actual, tendencias y perspectivas de la investigación en biotecnología en América Latina y el Caribe*, 5-9 de diciembre, Washington.
- Orrego, C. (1987), *Opciones para un programa regional de biotecnología*, reporte a la OEA, febrero, Berkeley, Cal.
- Orrego, C. (1989), *Excellence under adversity. The Life Sciences and Biotechnology in Latin America and the role of Scientific Societies in their development*, NSF/Interciencia/AAAS/American Society for Microbiology, Washington.
- Ortiz Mena, A. (1984), conferencia dictada en el Seminario Fortalecimiento de la investigación agrícola en América Latina y el Caribe, CIMMYT, 10-12 de septiembre, México.
- Ortiz Pinchetti, J.A. (1982), "El estatuto legal de las empresas transnacionales en México", en Echeverría, R. (coord.), *Transnacionales, agricultura y alimentación*, Colegio Nacional de Economistas-Nueva Imagen, México, pp. 309-322.
- Pérez, C. (1985), "Microelectronics, Long Waves and World Structural Change: New Perspectives for Developing Countries", *World Development*, vol. 13, núm. 3, pp. 441-463.
- Pérez Gavilán, P. (1986), entrevista personal, Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM, 13 de octubre, México.
- Pérez Miravete, A. (1984), *50 años de investigación en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas 1934-1984. Una valoración crítica*

- a la luz de su evolución histórica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México.
- PIDTA (1986), "Reporte de la gestión del Programa Indicativo de Desarrollo Tecnológico de la Agroindustria", documento interno, CONACYT, enero, México.
- Pimentel, D. (ed.) (1986), *Biotechnology in the Americas II: Applications in Tropical Agriculture*, Association INTERCIENCIA-CONICIT, 14-17 de julio, San José, Costa Rica.
- Piñero, M. y E. Trigo (eds.) (1983), *Cambio técnico en el agro latinoamericano: situación y perspectivas en la década de 1980*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- Plan Jalisco (1986), "Programa Estatal de Desarrollo Industrial", Gobierno Constitucional del Estado de Jalisco, CONACYT, febrero, Guadalajara.
- Preston, T. y G. Viniegra (1977), "Diseño de una estrategia integral para la producción de carne y leche", en Martínez, et al. (comp.), *Alimentación básica y desarrollo agroindustrial*, FCE, México, pp. 128-141.
- PRONACIB (1991), *Resumen Ejecutivo del Programa Nacional de Cooperación Técnica Internacional en Biotecnología*, PNUD, enero, 26 pp.
- PRONAL (1983), *Programa Nacional de Alimentación 1983-1988*, Poder Ejecutivo Federal, México.
- PRONDETYC (1984), *Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico. 1984-1988*, CONACYT, México.
- Quintero, R. (comp.), (1985), *Prospectiva de la biotecnología en México*, Fundación Javier Barros Sierra-CONACYT, México.
- Quintero, R. (1986), entrevista personal, 17 de abril, Universidad de Campinas, Brasil.
- Quintero, R. (1987a), "Estado actual de la biotecnología en América Latina", ponencia presentada en el Seminario *Introducción de la biotecnología en el desarrollo de la agricultura y la producción de alimentos: estrategias alternativas para México y Centroamérica*, 8 de abril, Tegucigalpa.
- Quintero, R. (1987b), "Evolución y perspectivas del posgrado nacional en alimentos", *Ciencia y Desarrollo*, número especial, abril, México.
- Quintero, R. (1987c), entrevista personal, ONUDI, 21 de mayo, México.
- Rabkin, Y. y H. Inhaber (1979), "Science on the periphery: a citation study of three less developed countries", *Scientometrics*, vol. I, núm. 3, pp. 261-274.

- Raimbault, M. (1987), "Conferencia sobre Detoxificación de la pulpa de café", Minicongreso sobre fermentación en estado sólido, UAM-Ixtapalapa, 23 de abril, México.
- Ramírez Hernández, J., L. Ayluardo, G. Becerra y A. Chávez (1975), "Problemática y perspectivas de las disponibilidades de alimentos en México", *Comercio Exterior*, vol. 25, núm. 5, mayo, México.
- Ranis, G. (1984), "Determinants and consequences of indigenous technological activity", en Fransman, M. y K. King (eds.) (1984), *op. cit.*, pp. 95-112.
- Rello, F. (1986), *El campo en la encrucijada nacional*, SEP, México.
- Ribeiro, D. (1970), "Política de desarrollo autónomo de la universidad latinoamericana", en Herrera, A. (ed.) (1970), *op. cit.*
- Robert, M. (1985), "El potencial del cultivo *in vitro* de células vegetales en el mejoramiento genético de plantas", en Robert, M. y V. M. Loyola, *El cultivo de tejidos vegetales en México*, CICY-CONACYT, México.
- Robert, M. y V.M. Loyola (eds.) (1985), *El cultivo de tejidos vegetales en México*, CICY-CONACYT, México.
- Robert, M. (1986), entrevista personal, CICY, 26 y 29 de diciembre, Mérida.
- Roca, W.M. (1984), "Biotecnología: oportunidades para la investigación agrícola en América Latina", *Memoria del Seminario sobre el fortalecimiento de la investigación agrícola en América Latina y El Caribe*, CIMMYT, 10-12 de septiembre, México.
- Roca, W.M. (1985), *Directorio latinoamericano de biotecnología agrícola*, CIAT, Cali.
- Roca, W.M., M.C. Amézquita y V.M. Villalobos (1986), *Estado actual de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe*, Encuesta 1986, CIAT, Cali, Colombia.
- Roche, M. y Y. Freitas (1982), "Producción y flujo de información científica en un país periférico americano", *Interciencia*, vol. 7, núm. 5, septiembre-octubre.
- Rodríguez, D., C. del Valle, V. Villarespe y R. Conde (1982), "Sector agroindustrial alimentario", en *Proyecto universidades en la política científico-tecnológica*, GEFE, junio, México.
- Rodríguez Sala, M. L. y A. Tovar (1981), *Comunicación científica en México: algunos aspectos sociales*, Cuadernos de Extensión Universitaria, UNAM, México.
- Rodríguez Sala, M. L. y A. Tovar (1982), *El científico como productor y comunicador: el caso de México*, Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, México.

- Romero Polanco, E. (1990), "La crisis y la alimentación nacional: opciones de desarrollo", *Comercio Exterior*, vol. 40, núm. 9, septiembre, pp. 859-867.
- Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box: technology and economics*, Cambridge Univ. Press, Londres-Nueva York.
- Rubluo, A. (1985), "Estrategias para la preservación de germoplasma vegetal *in vitro*", en Robert, M. y V.M. Loyola (eds.), *op. cit.*, pp. 35-54.
- Sábato, J. y N. Botana (1970), "La ciencia y la tecnología en el desarrollo de América Latina", en Herrera, A. (ed.) (1970), *op. cit.*
- Sábato, J. (ed.) (1975), *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*, Paidós, Buenos Aires.
- Sagasti, F. (1972), "La universidad y el desarrollo de la ciencia y la tecnología", en Sagasti, F. (1981), *Ciencia, tecnología y desarrollo latinoamericano*, Lecturas del Trimestre Económico, FCE, México.
- Sagasti, F. et al. (1985), *Comunidad científica y científicos en Perú: un estudio de cuatro campos* (versión preliminar), GRADE, Perú.
- Salles, S., V. Álvarez y W. Cerantola (1985), *Tendencias en C y T: Biotecnología*, proyecto sobre prospectiva tecnológica en América Latina, Campinas, Brasil (mimeo.).
- Salomon, J.J. (1983), *L'impact des biotechnologies sur le Tiers-Monde*, documento del FAST, Comisión de Comunidades Europeas, Bruselas.
- Salvador, M. (1987), entrevista personal, Departamento de Biotecnología, Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología, UNAM, 22 de octubre, Cuernavaca.
- Sánchez Cerezero, J.S. (1992), entrevista personal, subdirector académico de la UPIBI, 24 de septiembre, México.
- Sánchez Ruiz, S.A. (1985), "El desarrollo biotecnológico en México", en Quintero, R. (ed.), *Prospectiva de la biotecnología en México*, *op. cit.*, pp. 131-148.
- Sánchez, S.E. (1986), entrevista personal, Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM, 13 de octubre, México.
- SARH (1990), *Programa Nacional de Modernización del Campo 1990-1994*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, pp. 42-43.
- Sasson, A. (1984), *Las biotecnologías: desafíos y promesas*, Sextante 2, UNESCO, París.
- Sasson, A. (1986), *Quelles biotechnologies pour les pays en developpement?*, BIOFUTUR/UNESCO, París.

- Schwartzman, S. (1979), *Formação da comunidade científica no Brasil*, FINEP-Companhia Editora Nacional, Brasil.
- Schwartzman, S. (1985), "For a reappraisal of university research", ponencia presentada en el *International Seminar on Development and Scientific and Technological Research Effectiveness*, Río de Janeiro, Brasil, 15-18 de enero.
- SECOFI (1987), *Programa México*, documento interno, México.
- SEMIP (1986), *Programa de reconversión de la industria azucarera*, Documento interno, México.
- Sercovich, F. (1977), "Desarrollo de la capacidad de ingeniería en el sector químico y petroquímico. Delimitación metodológica de un campo de estudio", BID-CEPAL, documento de trabajo, núm. 10, Buenos Aires, Argentina.
- Sercovich, F. (1978), "Ingeniería de diseño y cambio técnico endógeno: un enfoque microeconómico basado en la experiencia de las industrias químicas y petroquímicas argentinas", BID-CEPAL, documento de trabajo, núm. 19, Buenos Aires, Argentina.
- Shaw, Ch. (1984), "Plant biotechnology. Genetic Engineering of crop plants: a strategy for the future and the present", *Chemistry and Industry*, diciembre, pp. 817-821.
- Sharp, M. (1985), *The New Biotechnology. European governments in search of an strategy*, Sussex European Papers, núm. 15, SPRU, University of Sussex.
- Skinner, F.A. (1985), "Agriculture and biotechnology", en Higgins, I.J. et al., *Biotechnology. Principles and Applications*, Blackwell Scientific Publications, Londres.
- Smith, M. (1987), entrevista personal, CIMMYT, 25 y 26 de mayo, Texcoco.
- SNI (1986), *Sistema Nacional de Investigadores: acuerdos e instructivo*, México.
- Soares de Assis, L.F. (1991), *La región frente a la negociación de la biodiversidad*, documento de un consultor, CEPAL, 31 de enero.
- Soberón, X. (1986), entrevista personal, Centro de Investigación en Ingeniería Genética y Biotecnología, UNAM, 22 de octubre, Cuernavaca.
- Soete, L. (1981), "Technical change, catching up and the productivity slowdown", en Grandstrand, O. y J. Sigurdson (eds.), *Technological and Industrial Policy in China and Europe*, Research Policy Institute, University of Lund, Suecia.
- Soete, L. (1985), "International diffusion of technology, Industrial Development and Technological Leapfrogging", *World Development*, vol. 13, núm. 3, Pergamon Press, pp. 409-422.

- Solleiro, J.L. (1987), entrevista personal, Centro para la Innovación Tecnológica, UNAM, 12 de junio, México.
- Sondhal, M.R., W.R. Sharp y D.A. Evans (1984), "Applications for Agriculture", en *ATAS-Bulletin. Tissue Culture Technology and Development*, núm. 1, Center for Science and Technology for Development, Naciones Unidas, Nueva York, pp. 14-20.
- SPP-CONACYT (1990), Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica, México.
- Stewart, F. (1984), "Facilitating indigenous technical change in Third World countries", en Fransman, M. y K. King (eds.) (1984), *op. cit.*, pp. 81-94.
- Stolle-Heiskanen, V. (1985), "Methodological problems of evaluation of scientific performance on the periphery", ponencia presentada en el *International Seminar on Development and Scientific and Technological Research Effectiveness*, Río de Janeiro, Brasil, 15-18 de enero.
- STPI (1977), *The STPI Project: approaches and concepts*, documento de trabajo, núm. 1, Reunión del STPI, Nairobi, 14-19 de diciembre.
- STPI (1978), *Main comparative report of the STPI Project*, IDRC, Ottawa.
- Suárez, B. y R. Vigorito (1982), "Capital extranjero y complejos agroalimentarios en América Latina: Historia y estrategia", *Problemas del Desarrollo*, núm. 47-48, agosto-enero, México.
- Swaminathan, M.S. (1984), "Problems and potentials. Tissue Culture and Agriculture", en *ATAS Bulletin. Tissue Culture Technology and Development*, núm. 1, Centre for Science and Technology for Development, Naciones Unidas, Nueva York, pp. 5-7.
- TEPLA (1986), "Reunión Latinoamericana de Biotecnología, Agricultura y Recursos Naturales", proyecto Prospectiva tecnológica para América Latina, Universidad de Campinas, Brasil, febrero.
- Texera, Y. (1985), "La biotecnología en la agricultura. Oportunidades para Venezuela", CENDES, Caracas (mimeo.).
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Mapes y C. Toledo (1981), "Crítica de la ecología política", *Nexos*, noviembre, México.
- Trigo, E.J. y M.E. Piñeiro (1981), "Dynamics of agricultural research organization in Latin America", *Food Policy*, febrero, pp. 2-10.
- Trigo, E.J., M.E. Piñeiro y J. Sábado (1983), "La cuestión tecnológica y la organización de la investigación agropecuaria en

- América Latina", *Desarrollo Económico*, vol. 23, núm. 89, abril-junio, pp. 99-119.
- Trigo, E. y W. Jaffe (1990), "Biosafety Regulations in Developing Countries", *Genetic Engineering and Biotechnology Monitor*, núm. 30, septiembre, pp. 46-51.
- UNESCO (1990), "International Seminario on the Economic and Socio-Cultural Implications of Biotechnologies", 28-31 de octubre, Vézelay, Francia.
- Unger, K. y V. Márquez (1981), *La tecnología en la industria alimenticia*, El Colegio de México, México.
- UNIDO (1981), *The establishment of an International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB)*, reporte de un grupo de expertos, 6 de octubre.
- UNIDO (1987), *Genetic Engineering and Biotechnology Monitor*, núm. 19, Viena.
- Van Hemert, P.A., H.L.M. Liliéveld y J.W.M. La Riviere (1982), *Biotechnology in developing countries*, Delft University Press, Holanda.
- Van Wijk, J. (1990), "Intellectual Property Protection for Plantas", *Biotechnology and Development Monitor*, núm. 4, septiembre, pp. 3-7.
- Varsavsky, O. (1969), *Ciencia, política y cientificismo*, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires, Argentina.
- Velho, L. M. (1985a), "Indicadores de C&T. ¿Cómo medir la ciencia?", *Revista Brasileira de Tecnologia*, vol. 16, núm. 1, enero-febrero.
- Velho, L. M. (1985b), *Science on the Periphery: A study of the agricultural scientific community in Brazilian Universities*, tesis doctoral, University of Sussex, Brighton, Inglaterra.
- Vergopoulos, K. (1987), "La fin de l'agroalimentaire ou l'émergence de la biotechnologie. L'état de la question", ponencia presentada en el seminario *Biotechnología y autosuficiencia alimentaria para México y Centroamérica*, 6-10 de abril, Tegucigalpa, Honduras.
- Vessuri, H. (1982), "Tres enfoques de la relación ciencia y desarrollo en Venezuela", en Aguilera, M., V. Rodríguez Lemoine y L. Yerro (eds.) (1982), *op. cit.*
- Vessuri, H. (1984), "Las nuevas tecnologías y la capacidad de investigación y desarrollo en América Latina: algunas consideraciones de enfoque y método", *Simposio Internacional sobre Perspectivas de la Política Científico-Tecnológica: Intercambio de experiencias prospectivas CEE-América Latina*, Guanajuato, México, 20-24 de febrero.

- Vessuri, H. (1985), *TEPLA PROJECT: Final Report 2nd Stage*, CENDES, Caracas, Venezuela, (mimeo.).
- Vessuri, H. (1986a), "The universities scientific research and the national interest in Latin America", *Minerva*, vol. XXIV, pp. 1-38.
- Vessuri, H. (1986b), "La evaluación de la capacidad científica en América Latina ante el desafío de las nuevas tecnologías", *Acta Científica Venezolana*, núm. 37, pp. 351-362.
- Vessuri, H. (1987), "The social study of science in Latin America", *Social Studies of Science*, vol. 17, núm. 3, agosto, pp. 519-554.
- Villalobos, V. (1986), entrevista personal, Colegio de Posgraduados de Chapingo, 12 de noviembre, Chapingo, Texcoco.
- Villatreviño, S. (1987), entrevista personal, secretario ejecutivo, COSNET-SEP, 5 de junio, México.
- Viniegra, G. (1986), entrevista personal, Departamento de Biotecnología, UAM-Ixtapalapa, 20 de octubre, México.
- Viniegra, G. (1987), "Fermentación sólida y aprovechamiento de esquilmos agrícolas", ponencia presentada en el *Seminario Interregional sobre biotecnología y autosuficiencia y seguridad alimentarias: México y Centroamérica*, UAM-Xochimilco, 30 de junio, México.
- Warman, A. (1978), "Desarrollo capitalista o campesino en el campo mexicano", *Comercio Exterior*, vol. 29, núm. 4, abril, México, pp. 399-403.
- Warman, A. (1981), "El futuro de una crisis", *Nexos*, núm. 43, julio, México, pp. 3-14.

Se terminó de imprimir esta obra
en agosto de 1993, en los talleres

IMPRESA ALDINA

ROSELL & SORDO NORIEGA, S. DE R. L.
Obrero Mundial, 201 03100 México, D. F.

La edición consta de 1 000 ejemplares
más sobrantes para reposición.

