



VOL: AÑO 6, NUMERO 16

FECHA: MAYO-AGOSTO 1991

TEMA: BIOTECNOLOGIA: Transformación productiva y repercusiones sociales

TITULO: **Las capacidades de investigación biotecnológica en México en el área agroalimentaria: Tendencias durante la década de 1980** [*]

AUTOR: *Rosalba Casas* [**]

SECCION: Artículos

RESUMEN:

El trabajo se inicia con la presentación sobre las tendencias generales de la investigación biotecnológica a nivel internacional así como de las argumentaciones en tomo a la importancia de la biotecnología para los países en vías de desarrollo. Posteriormente se detallan las características de las capacidades de investigación biotecnológica en México, atendándose a elementos tales como: recursos humanos, fuentes de financiamiento, relaciones interinstitucionales, vinculación con el sector productivo, las especificidades de las áreas de investigación y las limitaciones que confrontan actualmente, tanto de orden científico-técnico como económico y sociopolítico. El análisis de la biotecnología en México se centra en dos grandes áreas de investigación que para efectos de este trabajo se denominan: biotecnología vegetal y biotecnología agroindustrial. Finalmente se analizan las tendencias generales y los impactos socioeconómicos potenciales de estas áreas de investigación y se plantean las perspectivas de la biotecnología vegetal y agroindustrial para el sector agroalimentario en México.

ABSTRACT:

The Capacities of Biotechnological Research in Mexico in the Agroalimentary Area.

The paper begins with the presentation of the general tendencies of biotechnological research at international level as well as the arguments surrounding the importance of Biotechnology for the underdeveloped countries. Later on the characteristics of the biotechnological research capacities in Mexico are detailed, taking into account elements such as: human resources, financing sources, inter-institutional relations, entailment to the productive sector, specificities of research areas and the limitations faced with nowadays (scientific-technical, economic and sociopolitical ones). The analysis of Biotechnology in Mexico is centered in two big areas of research which, in this paper, are called vegetal biotechnology and agroindustrial biotechnology. Finally, the general tendencies and the potential socioeconomic impacts of these areas of research are analyzed and the perspectives of the vegetal and agroindustrial biotechnology for the agroalimentary sector of Mexico are stated.

TEXTO

Introducción

La investigación biotecnológica [1] en México está conformada por unidades de investigación que desarrollan proyectos tanto en el área de salud como en el de la

química y el medio ambiente, además de los trabajos que se relacionan con la agricultura y la agroindustria. Es decir, México está involucrado en el desarrollo simultáneo de un amplio espectro de áreas de investigación biotecnológica. Este es el resultado de varias décadas de esfuerzos invertidos en el desarrollo de la biotecnología, pero también es el resultado de la falta de una política bien definida para el impulso de esta área de investigación.

Si se considera la importancia que la biotecnología ha adquirido en el contexto internacional y las potencialidades que esta ofrece para mejorar los problemas agrícolas y alimentarios, así como la existencia de una base de investigación considerable en este campo en México, resulta indispensable analizar las orientaciones actuales de la investigación biotecnológica relacionada con aspectos agrícolas y alimentarios y determinar su relevancia para la problemática agroalimentaria que afronta actualmente el país. Este trabajo [2] analiza las características de la investigación biotecnológica, con el objeto de determinar si estas actividades se relacionan potencialmente con los problemas agrícolas y alimentarios que confronta el país. No se intenta evaluar los impactos sociales de la biotecnología, ya que esta es un área en gestación y aún tiene muy pocas aplicaciones productivas. No obstante se señalan las tendencias generales de la biotecnología y las potenciales repercusiones que tendrá sobre el sector agroalimentario en México.

Las actividades de investigación biotecnológica relacionadas con la agricultura y la alimentación se dividen en dos grandes áreas. La primera de ellas es la que se refiere a la biotecnología vegetal y se relaciona con el mejoramiento de semillas y cultivos mediante la manipulación in vitro que repercutirá posteriormente en la producción agrícola. La segunda área ha sido denominada para efectos de este estudio biotecnología agroindustrial y está basada en el uso de recursos naturales tales como residuos y subproductos agrícolas y agroindustriales para su reciclaje y enriquecimiento. De esta área de investigación se derivan productos de interés para la agroindustria alimentaria y no alimentaria. [3] El trabajo se divide en las siguientes secciones: 1) tendencias generales de la investigación biotecnológica en el contexto internacional, 2) antecedentes históricos de la biotecnología en México, 3) características de las capacidades biotecnológicas, 4) orientaciones de la investigación biotecnológica, 5) impactos socioeconómicos potenciales, 6) limitaciones para la investigación biotecnológica y 7) conclusiones.

1. Tendencias generales de la investigación biotecnológica en el contexto internacional

La biotecnología se institucionaliza en el ámbito internacional como campo de investigación durante la década de 1960. Sus aplicaciones e impactos se relacionan con muy diversos sectores e industrias; sin embargo, el sector agrícola ha sido considerado como el ámbito en el 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 fijadoras de su propio nitrógeno, así como producir plantas con mayores contenidos nutricionales y obtener nuevos productos agroindustriales.

La biotecnología ha adquirido un status 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 prevalecientes, así como con las áreas de competencia en la investigación científica de cada uno de esos países.

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

Esta situación ha tenido diversas repercusiones, tanto en las relaciones entre universidades e industria [4] así como en los patrones que rigen la actividad de los investigadores universitarios. Las nuevas formas de vinculación entre universidad e industria, han producido también distintas formas de incorporación de los investigadores a las actividades industriales, que van desde convenios colaborativos de los investigadores con las empresas importantes, como ha sucedido en el caso de Japón, hasta la creación por los investigadores de pequeñas empresas biotecnológicas para la aplicación de sus descubrimientos científicos, como ha sucedido en los Estados Unidos.

Las actuales acciones de apoyo para la investigación biotecnológica y para la industrialización de los procesos en los países desarrollados llevan a afirmar que en esos países se cuenta actualmente con una estrategia concertada entre los sectores público y privado, tal vez no formulada explícitamente, que se orienta al logro de la competitividad a nivel 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.

Por lo que se refiere a los patrones de desarrollo de la industria biotecnológica existen características que se han conjugado en forma diferente para diversos países. Entre las características más importantes de la emergencia de esta industria, Morehouse y Dembo (1984) señalan las siguientes: las nuevas dimensiones del vínculo entre el mundo académico y el corporativo, la emergencia de cientos de pequeñas compañías biotecnológicas que incluyen vínculos con empresas transnacionales ya establecidas, las diversas formas que han adquirido las actividades en biotecnología de las empresas transnacionales y el hecho de que el desarrollo inicial de la biotecnología se realizó sobre la base de investigación académica pública en la cual se apoyó la industria.

Otro de los aspectos que conviene señalar al analizar las tendencias generales en el desarrollo de la biotecnología es el que se refiere a la privatización de la biotecnología. La constitución de las empresas biotecnológicas y la explotación comercial de estas nuevas tecnologías han estado determinadas por intereses empresariales. El carácter privado de la biotecnología en los países desarrollados se ha enfatizado con respecto a sus aplicaciones en la agricultura (Buttel et al., 1985).

Desde hace varios años la investigación agrícola en los Estados Unidos está siendo contratada por las corporaciones a las universidades privadas que se encuentran fuera de la comunidad tradicional de la investigación agrícola. Este interés de las empresas privadas por el mejoramiento genético de plantas empleando métodos biotecnológicos ha estado motivado fundamentalmente por las posibilidades ya existentes en los Estados Unidos de patentar formas de vida genéticamente modificadas (Buttel et al., 1985; Juma, 1989).

La privatización de los procesos biotecnológicos implica que las tecnologías desarrolladas no serán públicamente accesibles, sino que serán vendidas y 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. Este carácter privado de la biotecnología ha provocado reacciones en los mismos países desarrollados que se oponen a la privatización de los organismos vivos, especialmente los pequeños agricultores, los consumidores y el público en general.

Las tendencias actuales de la biotecnología llevan a afirmar que las tecnologías derivadas de este campo no son neutrales en forma alguna, por lo que aún cuando la biotecnología ofrece muy interesantes potencialidades para el desarrollo socioeconómico de los países,

los intereses finales que guían su desarrollo no se orientan a la satisfacción de las necesidades sociales. Sin embargo, cabe enfatizar aquí que a diferencia de otras tecnologías, como por ejemplo las derivadas de la Revolución Verde, la biotecnología ofrece numerosas posibilidades de aplicación dependiendo de la estrategia de desarrollo que se intente sustentar.

La importancia de la biotecnología para el mundo subdesarrollado ha sido permanentemente discutida en diversos foros internacionales realizados tanto en los países desarrollados como en diferentes regiones del Tercer Mundo. [5] En tales discusiones se han tratado de definir los impactos potenciales de la biotecnología y adelantarse así a sus efectos, intentando con ello evitar experiencias como las que se derivaron de las tecnologías generadas por la Revolución Verde.

Atendiendo concretamente al sector agrícola puede afirmarse que las repercusiones o impactos de la biotecnología 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 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 el desarrollo de la agricultura en regiones en las que hasta ahora no se ha desarrollado. Es esta segunda alternativa la que resulta de interés para el Tercer Mundo y la que debería orientar prioritariamente el desarrollo de la biotecnología para estos países, dadas las condiciones económicas, tecnológicas y sociales que prevalecen en ellos. No obstante, es importante subrayar que los efectos socioeconómicos positivos de la biotecnología sólo serán posibles en la medida en que logre consolidarse una infraestructura científico-técnica, que logren definirse las áreas de interés para el país y que logre plasmarse una voluntad política que haga posible la integración de la biotecnología con objetivos de desarrollo social.

2. Antecedentes históricos de la biotecnología en México

Uno de los principales orígenes de la biotecnología en México, no solamente relacionado con la agricultura y la agroindustria sino con otros sectores de importancia social y económica, tuvo lugar en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Dentro del campo de la microbiología industrial se empezó a desarrollar un área de investigación dedicada al estudio para el uso de residuos industriales. La investigación sobre microorganismos y su empleo en diferentes sustratos para la producción de proteínas de origen unicelular (POU) empezó en la década de 1960 y estuvo concentrada en el uso de residuos del petróleo como fuente de carbón y energía para la biosíntesis de proteínas. Ya antes, en la década de 1940 los investigadores en esta escuela habían iniciado estudios sobre amilasas y enzimas microbianas que pudiesen ser empleadas industrialmente.

La investigación en el campo de la biotecnología vegetal se inicia en México en 1969, cuando se establece un convenio de cooperación científica entre México y Japón por un período de Cinco años. Como resultado de este convenio se establece el primer laboratorio de cultivo de tejidos vegetales (CTV) en el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo. Antes de esto solamente se había realizado un proyecto aislado sobre cultivo in vitro de maíz en el Instituto Mexicano del Seguro Social. Aproximadamente en 1972 la empresa Matsumoto, que producía plantas ornamentales, instala su laboratorio para la investigación de CTV, abriendo así en México el segundo laboratorio en este campo (Villalobos, 1986).

El laboratorio del Centro de Genética de Chapingo, más tarde conocido como Laboratorio de Biotecnología, fue el lugar de entrenamiento de varios especialistas en las técnicas de CTV. Antes de 1975, fue visitado por investigadores japoneses que estimularon la investigación básica y canalizaron equipo a ese laboratorio. Este laboratorio ha sido un centro de entrenamiento para investigadores que ahora trabajan en otras instituciones mexicanas. En 1975 se establece una relación académica entre Chapingo y la Asociación Internacional de Cultivos de Tejidos Vegetales (IAPTC) y en 1980, se establece la Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos como una rama de la IAPTC (Robert y Loyola, 1985).

Por lo que se refiere a la biotecnología agroindustrial, México ha estado involucrado en la investigación en este campo desde hace varias décadas. El desarrollo de la biotecnología iniciado en la ENCB-IPN se continuó en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV. El DBB fue creado en 1972 y se otorgó especial importancia a las aplicaciones para la alimentación y el medio ambiente y se dio un énfasis especial al desarrollo de la bioingeniería para proporcionar la infraestructura en la que pudiesen apoyarse los desarrollos biotecnológicos. Durante la década de 1970, otras universidades tales como la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad de Nuevo León, los Tecnológicos de Veracruz y Durango y varias otras instituciones de los estados, comienzan a crear también sus departamentos dedicados a la investigación biotecnológica.

Durante la década de 1980 se empiezan a crear instituciones orientadas a la investigación en la biotecnología de tercera generación, fundamentalmente en las áreas de la biología molecular y de la ingeniería genética. El Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM ya contaba desde la década de 1970 con un Departamento de Biología Molecular, orientado fundamentalmente al área de salud. En 1981 se crea en la UNAM el Centro de Fijación de Nitrógeno (CEFINI), cuya orientación desde entonces estuvo dada hacia la biología molecular. En 1982 se crea también en la UNAM el Centro de Investigación en Ingeniería Genética y Biotecnología (CIIGEBI). En el CINVESTAV, desde la década de 1970, se contaba con unidades de investigación en biología molecular y durante los ochenta se instaura una subsección del CINVESTAV en la ciudad de Irapuato, en la que se empieza a conformar uno de los grupos hasta ahora más importantes en ingeniería genética de plantas.

El recuento que se ha incluido en este inciso no tuvo como propósito elaborar una historia de la biotecnología en México, [6] sino solamente esquematizar los orígenes de las instituciones. Es importante enfatizar que esta área de investigación ha hecho ya avances importantes en México y cuenta con un desarrollo institucional que le ha permitido generar una infraestructura consistente en personal entrenado, instalaciones y equipo en las instituciones de investigación. A pesar de que el análisis que se incluye en las siguientes secciones es de carácter estático es importante enfatizar que es el producto de los esfuerzos desarrollados durante varias décadas.

3. Características de las capacidades biotecnológicas en México

3.1 Áreas de investigación

México cuenta con un gran número de instituciones en las que se realizan actividades de investigación en biotecnología vegetal y agroindustrial. Para efectos de este estudio se analizaron 38 unidades de investigación en biotecnología vegetal y 24 unidades para el área de biotecnología agroindustrial, en total el análisis que se presenta en este artículo considera 62 unidades que realizan investigación en biotecnología.

Los proyectos de investigación en proceso en esas unidades fueron agrupados de acuerdo a sus áreas de trabajo. Del Cuadro 1 se concluye que las áreas de investigación más trabajadas en biotecnología son: micropropagación, fijación biológica del nitrógeno y fermentaciones. Se observa una concentración de la investigación en el área de la micropropagación. Este es uno de los campos de la biotecnología que ha sido ya comercialmente aplicado. Es también importante resaltar que la micropropagación es el único campo que muchas unidades investigan, ya que 21 instituciones de 38 en biotecnología vegetal trabajan en esta área.

Cuadro 1

En el campo de las fermentaciones se emplean varias técnicas y procesos. Ellos se basan tanto en tecnologías importadas y adaptadas como en desarrollos tecnológicos diseñados y generados por centros nacionales de investigación. La mayoría de las instituciones trabajan con fermentaciones sumergidas por lote alimentado, es decir con procesos no continuos. Sin embargo, algunas instituciones, tales como el CIQA y el CINVESTAV-DF [7] han empezado a trabajar con procesos continuos.

Es importante resaltar que entre las instituciones que trabajan en fermentación sólida, existen además de las de la UAM y el CINVESTAV-DF varias instituciones ubicadas en otras entidades federativas. A pesar de que estas instituciones no son numerosas, emplean diferentes sustratos y diversos tipos de microorganismos. Entre otros se emplean sustratos que incluyen residuos de maíz, amaranto, trigo, pulpa de café, pulpa de henequén, brócoli y coliflor.

En el área de tecnología enzimática, y más específicamente en los proyectos de investigación que consideran la producción y separación de enzimas, el principal interés está puesto en las pectinasas de residuos de frutas, las celulasas para la industria alimentaria, las proteasas y las quitinasas, así como en la inmovilización de la enzima B-galactosidasa para la producción de leche libre de lactosa.

En relación a la bioingeniería cuyo desarrollo en México empezó con la institucionalización de la investigación biotecnológica, es interesante hacer notar que un número considerable de instituciones -14 unidades de 24 en biotecnología agroindustrial-, trabajan en esta área. Estas unidades están centradas en el diseño de equipo y la adaptación de tecnologías importadas, así como en la instalación de plantas piloto que consideran todas las etapas de un proceso productivo, incluyendo la recuperación del producto. En relación a este último aspecto es importante enfatizar que solamente el CINVESTAV-DF, el ITS y LANFI tienen el equipo necesario para llevar a cabo la recuperación de los productos finales.

Finalmente, el mejoramiento genético de los microorganismos empleados en los procesos de fermentación está siendo considerado en 6 unidades de investigación. Esta es una actividad muy importante para optimizar los procesos y hacerlos económicamente factibles. La mayoría de estas instituciones trabaja con mejoramiento genético por mutagénesis, y solamente 4 de ellas emplean técnicas de ADN-recombinante para mejoramiento genético. El CINVESTAV-DF es la única institución que en 1987 había integrado esta actividad a un proyecto más general sobre investigación en el uso de bagazo de caña para la producción de POU.

3.2 Recursos humanos y su calificación

Al analizar la investigación biotecnológica en México uno de los indicadores relevantes es el que se refiere a las características cuantitativas y cualitativas de los recursos humanos

que trabajan en este campo. En 1987 México contaba aproximadamente con un grupo de 111 investigadores en biotecnología vegetal y 123 en biotecnología agroindustrial (Cuadro 2). Estaban distribuidos en 62 unidades de investigación, lo que indica la gran dispersión de los recursos humanos en estos campos de investigación. Existen casos de instituciones con un solo investigador, mientras que otras cuentan con grupos más grandes de investigadores. Sin embargo, la mayoría de los proyectos de investigación están conformados por un investigador titular, en algunos casos un investigador asociado o ayudante de investigador, algunos técnicos y en ocasiones un gran número de estudiantes que trabajan en sus tesis de grado, ya sea de licenciatura, maestría y muy eventualmente de doctorado. Estos estudiantes son vitales para la investigación pero ellos no están contratados por los centros de investigación.

Cuadro 2

En el área de la biotecnología vegetal el CINVESTAV-Irapuato cuenta con la concentración mas grande de investigadores y el más alto número de doctores. Solamente en el grupo de ingeniería genética ese centro contaba en 1987 con 11 investigadores que representa la mitad del total de investigadores de ese centro. Este fenómeno se debe a una política deliberada para estimular los altos niveles de calificación entre el personal de investigación de este centro desde 1981 (Blanco, 1986). Esta política recibió un nuevo impulso en 1984 cuando se instituyó un programa de entrenamiento para la investigación y se aprobaron 10 becas para estudios doctorales por el Consejo Nacional de la Educación Tecnológica (COSNET). Se asignaron becas para estudios doctorales en el Instituto Max Plank y en Cambridge, U.S.A. Con esta política el CINVESTAV planeaba en 1987 contar con un grupo de 25 investigadores trabajando en ingeniería genética de plantas para fines de la década de 1980. La intención es formar un grupo interdisciplinario y desarrollar proyectos colectivos de investigación (Herrera, 1986), en vez de proyectos individuales, lo que contrasta con la tendencia dominante en la mayoría de las unidades de investigación.

Por lo que se refiere a la biotecnología agroindustrial existen instituciones que aún no cuentan con un investigador doctorado que coordine la investigación, fenómeno que se presenta en 12 de las 24 instituciones que se estudiaron. Muchos de los investigadores en esta área aún no completan su etapa formativa. En la mayoría de los casos la formación académica en los niveles de posgrado se desarrolla en paralelo con las actividades de docencia e investigación y es solamente cuando el investigador decide realizar su doctorado en el extranjero que puede contar con las facilidades y financiamiento necesarios para realizar ese objetivo.

3.3 Fuentes de financiamiento

Otro de los indicadores clásicos en la evaluación de las capacidades de investigación es el que se refiere a los financiamientos destinados a estas actividades. Durante el trabajo de campo se identificaron dos tipos de fuentes de financiamiento: aquéllas que se captan de los presupuestos dedicados por las mismas instituciones de investigación y aquéllas otras provenientes de fuentes externas.

Las dos fuentes mas importantes de financiamiento a nivel nacional en el campo de la biotecnología son el CONACYT y el COSNET. Hacia fines del sexenio pasado existían otras fuentes complementarias de financiamiento a nivel nacional tales como el Programa México que dependía de la SECOFI y la Fundación Ricardo L. Zevada, así como los financiamientos que resultan de las vinculaciones que cada institución establece con empresas públicas y privadas y a través de los cuales es posible conseguir equipo y

materiales de laboratorio que permitan continuar con la investigación básica para la cual se hace tan difícil obtener fondos.

De los financiamientos externos a las instituciones de investigación destacan los asignados por el CONACYT a la biotecnología vegetal y la agroindustrial para el período 1984-1987. [8] Para la primera de estas áreas el CONACYT asignó en miles de pesos a precios constantes los siguientes financiamientos: 1984: \$27,815; 1985: \$81,091; 1986: \$29,932 y 1987: \$12,256. Para la biotecnología agroindustrial la distribución de financiamientos para estos años a precios constantes fue la siguiente: 1984: \$43,261; 1985: \$52,261; 1986: \$17,058 y 1987: \$7,000.

A fines de la década de 1980 el CONACYT concentraba su apoyo en un número limitado de unidades de investigación, entre las que destacan aquéllas que pertenecen a la UNAM, la UAM-I, el CPCH, el CINVESTAV-DF, el CINVESTAV-Irapuato, así como varias instituciones en el interior del país, fundamentalmente el CICY, el INIREB [9] el ITS, el ITD y el IMCyP-Guad. Sin duda alguna 1985 constituye el año en el que se canalizaron los financiamientos más altos, que se redujeron en 1986 y que fueron prácticamente inexistentes en 1987. Esto se explica en parte por el hecho de que en varios casos el financiamiento autorizado en 1985 se destinó a cubrir actividades de investigación durante 2 años. Sin embargo, esa situación también se explica por la crisis económica que se agudizó en 1986 y que coincidió con los dos últimos años de la administración de Miguel De la Madrid, años durante los cuales el financiamiento disponible para las actividades científicas en México fue más reducido.

Para la biotecnología vegetal y la agroindustrial existe un creciente número de fuentes de financiamiento extranjeras. Solo para citar algunos ejemplos puede mencionarse que el CEFINI-UNAM en 1987 recibió financiamiento de 4 fuentes externas, dos de ellas internacionales, a saber, la Academia Nacional de Ciencias de los E.U. y la Comunidad Europea. Por otro lado cabe mencionar al CINVESTAV-Irapuato que es la institución que recibía, durante el período de esta investigación, mayores financiamientos externos y que ha logrado diversificar exitosamente sus fuentes de apoyo. Entre 1986-1987 recibió fondos para la investigación de la Fundación Ricardo Zevada, del COSNET, del Programa México, así como de la Academia Nacional de Ciencias de E.U., la OEA, la UNESCO, la ONUDI y de la Fundación Rockefeller. Esta diversificación en las fuentes de financiamiento es una política deliberada de este centro, ya que dada la incertidumbre en la continuidad de los fondos gubernamentales, este centro decidió orientarse hacia fuentes externas y asegurar así la continuidad de los proyectos ya iniciados.

3.4 Relaciones entre las instituciones de investigación biotecnológica

Tanto en la biotecnología vegetal como en la agroindustrial los contactos interinstitucionales son escasos. Los investigadores que trabajan en estas áreas de investigación tienen dos foros de encuentro, constituidos por la Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos Vegetales (AMCTV) y la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería (AMBB). En el período en el que se desarrolló este estudio la primera no era una plataforma muy bien organizada, mientras que la segunda convocaba periódicamente a congresos nacionales, reuniones y seminarios, que daban la oportunidad a los investigadores de mantenerse al día con las líneas de investigación que desarrollan las unidades de investigación en esta área a nivel nacional.

Cuadro 3

Los proyectos de investigación en estas áreas están estructurados en una forma institucional y hay poca inclinación hacia la unión de esfuerzos entre instituciones que

trabajan en proyectos similares. Algunas unidades de investigación, entre las que figuran las incluidas en el Cuadro 3, han empezado a integrar proyectos interinstitucionales entre dos o tres unidades de investigación. En total se detectaron 13 proyectos interinstitucionales, algunos de ellos apoyados en un acuerdo de colaboración y otros establecidos de manera informal.

3.5 Vinculaciones con el sector productivo

La biotecnología vegetal y la agroindustrial se caracterizan por diversos tipos de vinculación con el sector productivo, que van desde colaboraciones con empresas para el desarrollo de procesos hasta la aplicación productiva de los procesos desarrollados en las unidades de investigación. Existen acuerdos de investigación con empresas, tanto públicas como privadas, acuerdos que sin embargo no siempre garantizan la industrialización de los procesos. En total se detectaron 17 casos de colaboración entre las unidades de investigación y la industria (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 4

Cuadro 5

El campo de la micropropagación es sin lugar a duda el que presenta los ejemplos más frecuentes de aplicaciones productivas, dado el grado de desarrollo de estas técnicas y de su atractivo comercial. En el campo del mejoramiento genético se desarrollaban 3 investigaciones por medio de un acuerdo con la industria, mientras que para la biotecnología industrial de plantas no se detectaron vinculaciones con el sector productivo. Por lo que se refiere a la biotecnología agroindustrial, cinco acuerdos tienen como objetivo final la instalación de plantas piloto y solamente un acuerdo planteaba el establecimiento de un fideicomiso para la industrialización del proceso una vez que se demostrase su factibilidad económica.

Se detectó interés de parte de las empresas públicas por hacer uso de las capacidades de investigación biotecnológica desarrolladas en los centros de investigación. La mayoría de las vinculaciones con las empresas privadas se originan en una preocupación por parte de estas empresas por resolver problemas de contaminación causados por sus residuos industriales.

Se puede afirmar que en gran medida las vinculaciones entre la investigación académica y el sector productivo se establecen una vez que el proceso ha sido desarrollado en los centros de investigación. Esta situación nos hace asumir que el producto o proceso no fue desarrollado en respuesta a una demanda del sector productivo, sino que se originó en una preocupación de carácter científico o socioeconómico de los investigadores mismos. Por lo anterior los costos de investigación son en su mayoría cubiertos por los centros de educación superior y no por las industrias. De aquí cabe plantear que una estrategia que intente estrechar esos vínculos deberá enfatizar el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas que respondan a demandas específicas generadas en el sector productivo y que sean financiadas en forma conjunta por las universidades y las empresas.

4. Orientaciones de la investigación biotecnológica

4.1 Especies investigadas en biotecnología vegetal

La mayoría de las unidades de investigación que trabajan en micropropagación y en preservación de germoplasma investigan con plantas ornamentales (Cuadro 6). Otro aspecto importante de este campo es la investigación sobre especies frutales,

principalmente aquéllas destinadas a la exportación. En relación con las especies hortícolas, existen menos proyectos de investigación si se les compara con las especies ornamentales y frutales, y la investigación está concentrada en preservación de germoplasma.

Existen otras dos áreas relevantes en la investigación en micropropagación. Una es la micropropagación del agave, que en 1987 se desarrollaba simultáneamente en cinco unidades de investigación. Otra de las áreas importantes es la micropropagación de especies forestales y que, a pesar de su importancia para México, en esa fecha solamente se desarrolla en una unidad de investigación, que investigaba sobre la reproducción de tres especies de pinos, cedro rojo y otras especies tropicales.

Cuadro 6

Por lo que se refiere al mejoramiento genético de granos básicos (Cuadro 6), es importante enfatizar que estos proyectos se encuentran, en general, en sus fases iniciales. La investigación en cultivos básicos tales como arroz y frijol, que se desarrollan en el CINVESTAV-Irapuato, con objetivos de largo plazo, aún tienen que resolver limitaciones científicas y técnicas para poder emplear las técnicas de ingeniería genética.

El mejoramiento genético es un área de investigación en la que el objetivo fundamental es obtener plantas libres de virus y variedades que sean resistentes a las enfermedades, las plagas y a ciertas condiciones ambientales adversas. En los países desarrollados la línea predominante de investigación, por lo que concierne a granos básicos, es la de obtener variedades resistentes a insumos agrícolas tales como insecticidas y herbicidas (Sasson, 1986). La preocupación para obtener esas variedades está dada por los fuertes intereses de las empresas transnacionales para mejorar y monopolizar el mercado de insumos agrícolas.

De los datos obtenidos en esta investigación puede afirmarse que esas líneas de investigación aún no son desarrolladas en México. Las orientaciones de la investigación del mundo desarrollado no son necesariamente atractivas para los agricultores mexicanos quienes están más interesados, en primer término, en variedades que garanticen una buena cosecha, debido a su resistencia a las plagas sin tener que emplear pesticidas. En segundo término, ellos requieren variedades que sean menos dependientes de insumos agrícolas y más adaptables a las variantes condiciones ambientales. Estos intereses de los agricultores mexicanos implican el desarrollo de líneas de investigación diferentes de las que promueven los países avanzados. México se beneficiaría de los esfuerzos para disminuir el plazo para la obtención de variedades resistentes a enfermedades, pestes, a condiciones ambientales y capaces de fijar su propio nitrógeno.

La biotecnología industrial de plantas es un área de investigación que se encuentra en su etapa inicial en México ya que en 1987 solo se desarrollaban 3 proyectos de investigación (Cuadro 6). Estas investigaciones tienen como objetivo fundamental la producción de sustancias para uso médico y farmacológico: en primer lugar la producción de Digoxina que es empleada como cardiotónico en la industria farmacéutica; en segundo lugar la producción de Vincristina y Vinblastina que son alcaloides diméricos y se emplean para el tratamiento del cáncer, y en tercer lugar la producción de Capsaicina.

Los proyectos para la producción de Digoxina, Vincristina y Vinblastina intentan producir sustitutos de las actuales importaciones de estos productos, que aunque se importan en mínimas cantidades implican altas erogaciones por sus costos tan elevados. Sin embargo, es poco probable que estos proyectos resulten exitosos. Algunos de sus investigadores han expresado dudas respecto al éxito de los mismos, debido a la competencia mundial

en la investigación sobre estos metabolitos, así como a la competencia en los mercados mundiales, que deja pocas oportunidades para los desarrollos tecnológicos de México en esta área. Los proyectos que actualmente se desarrollan en México en esta área, podrían convertirse en aportes al conocimiento e inclusive podrían tener éxitos técnicos, pero difícilmente repercutirán en el desarrollo tecnológico nacional ya que es poco probable que logren industrializarse dados los altos costos que ello implica. Por consiguiente, los países en desarrollo que hasta ahora han sido proveedores de metabolitos secundarios para los países desarrollados, extraídos por métodos químicos, se encuentran frente a una gran amenaza de sustitución de esos productos, amenaza a la que no pueden responder dados los altos costos de producción que implican las nuevas formas biosintéticas para la producción de dichos metabolitos.

En cuanto a la investigación básica de interés para la biotecnología vegetal se incluyen áreas tales como la fisiología, la bioquímica, la genética y la biología molecular que pueden contribuir a entender y fundamentar científicamente las investigaciones de cultivo in vitro y que permiten aportar conocimientos para la aplicación de las técnicas de ingeniería genética. Estos estudios son aún bastante incipientes en el país lo cual se demuestra por el reducido número de instituciones que trabajan en estas líneas de investigación (Cuadros 1 y 6).

En relación al campo de la fijación biológica del nitrógeno existe un gran número de instituciones que desarrollan trabajos en esta área (Cuadro 6) prevaleciendo dos enfoques: el primero estudia los fenómenos naturales de fijación del nitrógeno que se produce por medio de la simbiosis entre *Rhizobium* y leguminosas y la búsqueda de cepas nativas de microorganismos que son empleadas como fuente de fijación de nitrógeno por las plantas. El otro enfoque, que es el que se desarrolla en el CEFINI-UNAM, es el de la biología molecular, y estudia las características genéticas de los microorganismos que son capaces de fijar el nitrógeno, principalmente el *Rhizobium*. En el largo plazo el entendimiento, manipulación y transferencia de los genes que fijan el nitrógeno podría llevar a la creación de nuevos cultivos, tal vez cereales, capaces de fijar su propio nitrógeno.

Por lo que se refiere a la biología molecular aplicada a plantas, el CINVESTAV-Irapuato y el CEFINI-UNAM, son las dos unidades de investigación en el país que desarrollan investigación en esta área, pero con diferentes orientaciones. Durante el trabajo de campo pudo percibirse que otras instituciones de investigación están interesadas en entrar a este campo de investigación. Por ejemplo investigadores del DB-FQ-UNAM y del CB-CPCH manifestaron su interés por empezar estudios en este campo.

4.2 Residuos y subproductos investigados en la biotecnología agroindustrial

Dada la gran variedad de recursos naturales (sustratos) sobre los que se investiga en esta área, las investigaciones se clasificaron considerando tres grandes grupos de sustratos, atendiendo a sus características y composición: a) sustratos que son fuente de carbohidratos, b) residuos lignocelulósicos y c) otros sustratos.

En relación a la investigación que emplea sustratos que son fuente de carbohidratos los más investigados son las melazas, la yuca, el suero de leche y residuos de frutas y verduras.

Las melazas, que son el subproducto de la cristalización del azúcar, representa uno de los sustratos más atractivos, tanto por su abundancia y localización como por sus características químicas que permiten su fácil uso como fuente para la generación de varios productos. En 198788 unidades de investigación trabajaban con melazas, en todos

los casos empleándose técnicas de fermentación sumergida, tanto a través de procesos por lote alimentado como de procesos continuos. El CINVESTAV-DF figura como la institución más avanzada en el empleo de este sustrato. Los objetivos son la optimización de un fermentador, mejorando el rendimiento y la diversificación en los usos del mismo, empleándolo tanto como levadura forrajera como para la producción de saborizantes para la industria alimenticia. Más recientemente se han planteado nuevos usos para este sustrato tales como la levadura en crema para rehidratar leche en polvo para consumo humano, sustituyendo parte del agua (De la Torre, 1990). Otras instituciones emplean la fermentación sumergida para desarrollar usos alternativos de este subproducto, tales como la producción de insecticidas, metabolitos y aceites microbianos. En los dos últimos casos la producción de POU es contemplada como producto secundario.

Los trabajos de investigación sobre suero de leche se desarrollan en siete unidades de investigación. En México representa aproximadamente 1,000,000) de toneladas anuales que por otro lado actúan como contaminante. Se desarrollan diferentes líneas de investigación, entre las que cabe señalar: la producción e inmovilización de la enzima ogalactosidasa (lactasa) que hidroliza la leche para producir leches libres de lactosa; la producción de Proteínas de origen unicelular (POU) a través del cultivo de levaduras mixtas mezcladas con el suero de leche y licor de maíz; la producción de biomasa usando el hongo *Ustilago* en la fermentación; la producción de aminoácidos mediante lactosa y sales minerales; producción de medios de cultivo, mediante suero de leche en polvo; suplemento protéico animal y POU enriquecida con metionina; producción continua de yogurt, y producción de lipasas, que son enzimas para la industria alimenticia que se emplean como saborizantes para alimentos (Cuadro 7).

Finalmente, en cuanto al empleo de otros carbohidratos tales como residuos de frutas, verduras, tubérculos, almidones de maíz, amaranto y trigo, es importante resaltar que las investigaciones sobre ellos emplean una gran variedad de técnicas biotecnológicas. La mayoría de las unidades de investigación que emplean estos carbohidratos se orientan a la producción de POU para generar alimentos enriquecidos para alimentación animal, así como a la producción de enzimas. Las unidades de investigación que trabajan con estos subproductos están ubicadas tanto en el D.F. como en otros estados del país, principalmente Guanajuato, Estado de México y Coahuila. Este hecho revela una preocupación de los investigadores por el empleo de desechos y subproductos característicos de ciertas regiones del país.

Cuadro 7

Los residuos lignocelulósicos están constituidos por una gran variedad de esquilmos agrícolas y subproductos agroindustriales entre los que se incluyen los siguientes: bagazo de caña, pajas de trigo, arroz, cebada, rastrojos de maíz, cascarilla de algodón y de arroz, residuos forestales, bagazo de guayule y de piña y pulpa de henequén, entre otros. Su presencia en diferentes regiones del país, así como los problemas de contaminación que ocasionan, han dado origen a diversas líneas de investigación, tratándose de encontrar usos relevantes mediante sistemas de bioconversiones. Estos usos están orientados a diferentes sectores entre los que destacan el alimentario, el agrícola, el energético, el sector de la construcción y la industria papelera (Cuadro 7).

Por lo que se refiere al uso del bagazo de caña y del bagacillo los objetivos consisten en el diseño y operación de procesos para la producción de POU y para incrementar la digestibilidad de estos residuos por el ganado. Los avances de investigación con bagazo de caña en el DA-FQ-UNAM, el CINVESTAV-DF y el IMCyPU-Guad figuran entre los más relevantes. Aún existen problemas de factibilidad económica, debidos fundamentalmente

al pretratamiento que requieren estos sustratos antes de someterlos al proceso de fermentación.

Si se consideran otros residuos agroindustriales del tipo lignocelulósico cabe destacar los trabajos de investigación que se desarrollan en el ITS con rastrojo de trigo. Esta institución ha integrado una línea de investigación compuesta de varios proyectos, que además de enriquecer el conocimiento sobre este sustrato, plantean la diversificación de los productos finales que se generarán en cada una de las etapas del proceso. Entre los productos finales el interés está puesto en POU para animales (peces y ganado), POU para consumo humano, suplementos vitamínicos para consumo humano y animal, levadura panificadora, goma xantana y celulasas para la industria de alimentos, la textil y la farmacéutica.

Finalmente otras instituciones desarrollan procesos para el uso la pulpa de henequén, el bagazo de guayule y la cascarilla de arroz. En el segundo caso el CIQA trabaja en la optimización de un proceso para la producción de bagazo de guayule protéicamente enriquecido. En cuanto a la utilización de la cascarilla del arroz, el CINVESTAV-DF cuenta con una larga trayectoria en el empleo de este residuo que inicialmente se pensó emplear para la alimentación animal. Sin embargo, dados los problemas para lograr la degradación de la lignina se cambiaron los objetivos y se orientó su uso hacia la obtención de otros productos (De la Torre, 1986). Por su alto contenido de silicatos, se plantea la obtención de gel de sílice que es empleado como abrasivo para pastas de dientes y para la vulcanización de hule. También se le puede usar para la producción de hemoderivados que se utilizan en los análisis de laboratorio, así como para la obtención de lignina y celulosa.

La investigación biotecnológica en esta área de los residuos lignocelulósicos se enfrenta todavía a las limitaciones determinadas por la composición de estos residuos, cuyas características químicas y físicas son de la mayor importancia. La lignina está unida a la celulosa y la hemicelulosa, lo que impide su aprovechamiento eficiente. La constitución de la lignina es muy compleja y aún poco comprendida. Solamente mediante la degradación de la lignina se puede tener acceso a todo el material susceptible de ser transformado por los microorganismos en proteínas, con lo cual el proceso se haría rentable (Leal-Lara, 1985).

En el Cuadro 7 están contenidos los residuos y subproductos considerados en la categoría de otros sustratos, algunos de los cuales se relacionan con la actividad agrícola, otros con las actividades pecuarias y con diferentes industrias. Cabe mencionar que la investigación con estos sustratos emplea todas las técnicas que se incluyen en el área de biotecnología agroindustrial. También se aplican las técnicas de fermentación anaeróbica mediante el uso de digestores. En cuanto a los usos finales de estos subproductos, algunos de ellos, tales como el estiércol y las aguas residuales, se usan como fuente de energía en la forma de gas metano. Otros subproductos, tales como el metanol, y la pulpa de café se emplean como fuente para biomasa protéicamente enriquecida para alimentación animal.

5. Impactos socioeconómicos potenciales de la biotecnología vegetal y agroindustrial

La biotecnología vegetal en México está actualmente orientada hacia cultivos ornamentales, hortícolas, frutícolas e industriales, cuyo objetivo central es la obtención de material vegetativo para la exportación o la exportación directa de los cultivos. Dado que las técnicas de cultivo de tejidos vegetales tienden a ser técnicamente propicias para las especies que se han mencionado y no para las especies que se reproducen por semillas, la orientación actual de la investigación biotecnológica en México se basa entonces tanto

en la importancia comercial de las especies investigadas como en la existencia de técnicas que permiten obtener una más rápida regeneración de plantas idénticas que por los métodos convencionales.

La biotecnología vegetal en el país no se dirige a la investigación sobre granos básicos. Aún no se consideran los problemas que presentan las tierras agrícolas menos favorecidas o la producción de insumos más adecuados para los campesinos de bajos ingresos. Por ejemplo, la investigación sobre tierras de temporal y zonas áridas es prácticamente inexistente. La única excepción es el grupo de investigación sobre ingeniería genética de plantas del CINVESTAV-Irapuato, el que ha formulado una política explícita dirigida a confrontar los problemas de la agricultura de la región en la que este centro está localizado. Esta institución planeaba en 1987 iniciar investigaciones sobre variedades de frijol apropiadas a las condiciones de la región del Bajío.

Las tendencias de la investigación en biotecnología vegetal hasta cierto grado reproducen las tendencias que se observan en el mundo desarrollado, dado que los cultivos de interés tienen un potencial industrial o 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 aplicables a plantas, aún tienen un desarrollo incipiente en México. Sin embargo, la biotecnología vegetal en México no se orienta hacia la sustitución de cultivos de exportación por otros cultivos o por sustancias producidas por métodos biosintéticos, tal como ha ocurrido en los países desarrollados.

Por lo que se refiere al mejoramiento de granos básicos, el incremento de su contenido nutricional y su producción en tierras poco apropiadas para la agricultura, la investigación biotecnológica en México aún no ofrece potencialidades de corto plazo. Sin embargo, existen algunos indicadores a nivel internacional que esos objetivos podrían lograrse en el largo plazo. Un ejemplo es la investigación sobre arroz que ha generado variedades capaces de crecer en suelos salinos. Esto implica que México debe seguir con cuidado los avances que se producen en ese terreno en el contexto internacional y adaptarlos a los granos básicos de interés para la alimentación de la población.

En cuanto a la biotecnología agroindustrial predomina el interés por la producción de alimentos alternativos para la alimentación animal, tanto en forma de concentrados protéicos como de POU, que podrían intensificar la producción avícola y porcina en zonas rurales. Tales actividades podrían repercutir en el incremento de producción de proteínas animales, en la disminución de las importaciones de soya, en la liberación de tierras que hasta ahora son empleadas para el cultivo del sorgo y beneficiar así a las poblaciones rurales y urbanas.

Esta parece ser una de las áreas de aplicación más prometedoras para México que ayudaría a resolver algunos de los actuales problemas agrícolas y ganaderos. Actualmente esos recursos están siendo estudiados para diversos usos, no todos relacionados con la agricultura y la ganadería. Esto implica que es necesario formular una política para el empleo de los esquilmos y subproductos y determinar los usos técnicos más idóneos de esos recursos y la factibilidad económica de su empleo.

Si se observan otras orientaciones de la biotecnología agroindustrial, se encuentra cierta evidencia (Cuadro 7) de que las aplicaciones finales de los procesos biotecnológicos serán la producción de aditivos para la industria alimentaria. Asimismo se observa cierta tendencia hacia la sustitución de importaciones mediante la producción interna de sustancias requeridas por la industria alimentaria.

El empleo de procesos fermentativos, su optimización, la adaptación de tecnologías y el uso de una gran variedad de recursos naturales dan a la biotecnología agroindustrial en México un carácter propio y la sitúan en lo que ha sido definido como biotecnología apropiada, convencional o de segunda generación. Este hecho que para muchos académicos y políticos representa un atraso con respecto a los países desarrollados, podría ser visto como una ventaja comparativa, derivada del interés de los investigadores mexicanos por mejorar y adaptar estos procesos que son relevantes para la problemática nacional y para el uso de recursos naturales disponibles en el país.

Finalmente, en relación a la posibilidad de alcanzar la autosuficiencia alimentaria en cultivos básicos y mejorar la agricultura y la situación alimentaria en México por medio de la biotecnología, las posibilidades son aún bastante desalentadoras. Tales objetivos permanecen aún como grandes promesas de la biotecnología.

6. Limitaciones para el Desarrollo Biotecnológico

Una de las preocupaciones centrales de esta investigación consistió en aplicar un conjunto de criterios de análisis de naturaleza cualitativa que permitiera identificar los problemas y limitaciones relacionados con el desarrollo biotecnológico en México y en particular con el que se relaciona con la agricultura y la agroindustria. Es así que al inicio de este estudio se seleccionaron diversos criterios para el análisis de este campo de investigación: viabilidad científica y técnica de la investigación biotecnológica, factibilidad económica de los procesos en desarrollo, oportunidades políticas y relevancia social de la capacidad de investigación en este campo. Estos criterios resultaron relevantes para comprender los problemas específicos tanto de orden interno como externo de esta área de investigación. Atendiendo a los criterios anteriores las principales limitaciones para el desarrollo de la biotecnología vegetal y agroindustrial en México se resumen a continuación.

1) Existen limitaciones científicas y técnicas para el desarrollo de los procesos y los productos biotecnológicos. Dichas limitaciones son de carácter diferente para la biotecnología vegetal y la agroindustrial. Estas dos áreas de la investigación biotecnológica confrontan actualmente diversas limitantes de carácter científico y técnico que impiden su desarrollo y limitan su relevancia potencial para los problemas agrícolas y alimentarios de México.

2) Existen también limitaciones relacionadas con la factibilidad económica de los procesos biotecnológicos que impiden demostrar el rendimiento de los mismos. Este es uno de los factores que explica la falta de aplicación industrial de procesos que han completado la fase experimental de laboratorio o que inclusive han sido probados a nivel piloto. Este factor combinado con el escaso interés del sector industrial por invertir en plantas piloto en las que pueda probarse y mejorarse la rentabilidad de los procesos y por un interés predominante del sector productivo por industrializar solamente aquellos que resulten altamente rentables, independientemente de su relevancia socioeconómica, explican en cierto grado lo incipiente de la industria biotecnológica mexicana.

3) Otras limitantes son de carácter institucional debido a las características predominantes de la estructura organizativa de las instituciones de investigación y a su falta de definición de políticas de investigación. Tales problemas de organización y de falta de definición de políticas afectan en general al conjunto del sistema científico y tecnológico en México.

4) La gran mayoría de las instituciones estudiadas no realizan investigación exclusivamente en biotecnología, sino que cubren diversos campos de desarrollo científico y tecnológico. Las unidades de investigación que realizan investigación

biotecnológica solamente lo hacen en alguna o algunas de las disciplinas que la conforman, y no se observa un trabajo interdisciplinario en este campo de investigación.

5) Existe una fuerte tendencia hacia la dispersión de las actividades, lo que se origina en parte por la creación de nuevas instituciones, que en su mayoría no cuentan con los recursos humanos, financieros y materiales necesarios para consolidarse como centros de investigación.

6) Otras limitaciones se originan en las actitudes de los investigadores hacia su trabajo, entre quienes aún prevalece la falta de una conciencia social y la definición y claridad con respecto al papel de la ciencia y la tecnología en la sociedad y a su importancia para un país subdesarrollado.

TEXTO

7) Finalmente existen limitaciones que se originan en la falta de integración entre las políticas de desarrollo científico y tecnológico explícitas e implícitas. Las propuestas planteadas por el gobierno en los planes de ciencia y tecnología no se implementan en la práctica. En México, a diferencia de otros países en desarrollo, no ha logrado conformarse una política explícita de desarrollo biotecnológico, a pesar de que a principios de la administración pasada se hicieron varios esfuerzos para elaborar un programa en la materia. Los elementos más significativos para conformar una política biotecnológica se encontraron contenidos en el PRONDETYC, cuya vigencia formal terminó con la pasada administración. Por lo que se refiere a la actual administración el proceso de formulación de una política biotecnológica se encuentra ya bastante rezagado. Es importante resaltar que el actual Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994 (PCyMT) vuelve nuevamente a los planteamientos generales que habían caracterizado a programas previos en la materia, señalando exclusivamente los aspectos más globales que orientarán la política de ciencia y tecnología en el actual sexenio. La elaboración de una estrategia biotecnológica para México, debería considerar la experiencia acumulada hasta ahora en diagnósticos y recomendaciones elaborados por especialistas, en distintos momentos desde mediados de la década pasada, en los que se han sugerido diversas alternativas de desarrollo biotecnológico para el país.

7. Conclusiones

De la evidencia obtenida en esta investigación puede afirmarse que, a pesar de las actuales limitaciones, México cuenta con una capacidad de investigación biotecnológica importante. Su desarrollo, como se ha visto, ha sido el resultado de esfuerzos realizados por las instituciones de investigación gubernamentales y educativas desde la década de 1940. Sin embargo, las direcciones más convenientes para esta área de investigación no han sido definidas en forma explícita y este es uno de los elementos de mayor preocupación para la política biotecnológica en México.

Lo anterior se sustenta en el hecho de que a nivel internacional la investigación biotecnológica está experimentando importantes avances y está definiendo más concretamente sus orientaciones. Podría afirmarse de manera general que las orientaciones actuales de la biotecnología a nivel internacional no son necesariamente las más apropiadas para los problemas que confronta el sector agroalimentario en México. Por lo que se refiere a la biotecnología vegetal una de las orientaciones centrales a nivel internacional es la obtención de variedades resistentes a insumos agrícolas tales como los herbicidas. Sin embargo, la agricultura mexicana requiere de variedades resistentes a enfermedades, condiciones ambientales y menos dependientes de insumos agrícolas y, que puedan asimismo, ser accesibles al sector campesino que no cuenta con los medios

económicos para adquirir semillas e insumos costosos. Estas demandas específicas implican orientaciones diferentes de la investigación biotecnológica a las que han elegido los consorcios transnacionales cuyo interés radica en asegurar sus mercados y la venta de sus insumos agrícolas.

Atendiendo a otros problemas del sector agroalimentario en México existe la necesidad de mayor producción de proteínas alimentarias para mejorar los problemas nutricionales de la población. Es asimismo necesario contar con nuevas fuentes para la alimentación animal que no compitan con las que son relevantes para la alimentación humana. Estos objetivos de investigación no tienen la misma importancia para los países desarrollados quienes no están interesados en incrementar su producción total de alimentos protéicos. Dichos países tampoco necesitan modificar los patrones de alimentación animal ya que los recursos que se utilizan para ese fin no compiten con los que se emplean para la alimentación humana.

Dadas las características de los desarrollos biotecnológicos a nivel internacional y las potencialidades de las capacidades biotecnológicas desarrolladas por México es ya indispensable definir una estrategia biotecnológica para el país. Dicha estrategia deberá basarse tanto en las capacidades acumuladas como en los aspectos socioeconómicos que requieren de un potencial biotecnológico. A partir de estos dos elementos deberá definirse una política para el desarrollo de esta área de investigación tanto en términos de líneas de investigación como para la formación de recursos y la adquisición de una infraestructura para la investigación y para la industria biotecnológica.

México no debe ni puede involucrarse en el desarrollo simultáneo de todas las áreas biotecnológicas. Actualmente la situación que se observa es precisamente esta, y aunque en este estudio se ha hecho referencia exclusiva a la investigación que se relaciona con el sector agroalimentario, existe también una creciente capacidad de investigación relacionada con el sector salud y con el sector químico, capacidades que tienden a diversificarse cada vez más. Esta situación debe modificarse y los esfuerzos deben concentrarse en áreas estratégicas para el país. En primer lugar es necesario definir cuáles serán esas áreas estratégicas. Con base en el estudio realizado se sugiere que la agricultura debería constituir una de las áreas de desarrollo biotecnológico estratégico para México. Esto se apoya en los siguientes argumentos: a) esta área constituye uno de los campos en los que se producirán grandes transformaciones a partir de la biotecnología y en la que ya se prevén impactos provenientes del exterior a los que es necesario responder con alternativas tecnológicas que impacten positivamente sobre el sector agrícola y, b) México cuenta con una capacidad de investigación agrícola convencional importante que podría optimizarse mediante desarrollos biotecnológicos y contribuir con ello a la adopción de un nuevo patrón de desarrollo agrícola y alimentario relevante para la mayoría de la población.

Finalmente es importante enfatizar que México se encuentra bastante rezagado en cuanto a la definición de una estrategia biotecnológica. Este es un aspecto sobre el que se ha venido insistiendo desde mediados de la década de 1980 sin que se haya logrado avanzar en la definición de opciones y menos aún de líneas estratégicas. Los avances biotecnológicos a nivel internacional continúan su curso acelerado y los impactos de las tecnologías generadas ya se empiezan a hacer sentir en el mundo en desarrollo. Por lo anterior se plantea que es extremadamente urgente adoptar en esta década de 1990 las opciones más idóneas para el desarrollo biotecnológico en el país, atendiendo a las necesidades de un desarrollo tecnológico endógeno capaz de contribuir a objetivos de desarrollo socioeconómico. De no avanzarse en esta dirección durante los primeros años de la década que empieza, habrán de lamentarse, al igual que como ocurrió con las tecnologías derivadas de la Revolución Verde, los efectos negativos que producirá la

transferencia de las biotecnologías generadas en el mundo desarrollado, tanto sobre la agricultura, sobre nuestros ecosistemas, así como sobre el nivel de vida de la mayoría de la población.

Anexo 1 Siglas de Instituciones de Investigación

CAE-GT-INIFAP

Centro Agrícola Experimental-General Teherán Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

CAE-Z-INIFAP

Centro Agrícola Experimental-Zacatepec-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

CEFINII-UNAM

Centro de Investigación sobre la Fijación del Nitrógeno

CICY

Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán

CG-CPCH

Centro de Genética-Colegio de Posgraduados de Chapingo

CIEAA-U. Guan.

Centro de Investigación y Enseñanza en Agricultura y Alimentación-Universidad de Guanajuato

CIIGEBI-UNAM

Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología

CIQA

Centro de Investigación en Química Aplicada

CINVESTAV-DF

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

CPCH

Colegio de Posgraduados de Chapingo

CTV-UACH

Lab. de Cultivo de Tejidos Vegetales-Univ. Aut. de Chapingo

DA-FQ-UNAM

Departamento de Alimentos-Facultad de Química

DB-IIB-UNAM

Departamento de Biotecnología-Instituto de Investigaciones Biomédicas

DBB-CINVESTAV

Departamento de Biotecnología y Bioingeniería CINVESTAV

DIQ-FQ-UNAM

Departamento de Ingeniería Química-Facultad de Química

ENCB-IPN
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas

FCB-UANL
Fac. de Ciencias Biológicas-Univ. Autónoma de Nuevo León

IB-UNAM
Instituto de Biología

IIB-UNAM
Instituto de Investigaciones Biomédicas

IMCyP-Guad.
Instituto de Madera, Celulosa y Papel, Univ. de Guadalajara

INIREB
Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos

INMECAFE
Instituto Mexicano del Café

INN
Instituto Nacional de Nutrición

ITD
Instituto Tecnológico de Durango

ITS
Instituto Tecnológico de Sonora

LANFI
Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial

LB-CG-CPCH
Laboratorio de Biotecnología-Centro de Genética Colegio de Posgraduados de Chapingo.

UAM-I
Universidad Autónoma Metropolitana-Ixtapalapa

UAQ
Universidad Autónoma de Querétaro

CITAS:

[*] Este artículo está basado en: CASAS, R. "Biotechnology in Mexico: Opportunities and Constraints in the Agroindustrial Sector", IFIAS Biopolicy Series, Núm. 5, ACTS Press, African Centre for Technology Studies, Nairobi, Kenya (en prensa).

Una versión resumida de este trabajo, con el título de "Perspectivas del desarrollo biotecnológico agroalimentario en México para la década de 1990" será publicada en: Varela, R., Campos, M. A. y Blum, E. (eds.), Prospectiva Social y Revolución Científico-Tecnológica, Universidad Autónoma Metropolitana (en prensa).

[**] Investigadora Asociada C, Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM.

[1] La biotecnología es definida como el procesamiento industrial de materiales por medio de microorganismos y otros agentes biológicos para la producción de bienes y servicios (FAST 1980). Para efectos de este estudio se empleó una definición amplia de biotecnología que incluye las diferentes técnicas que han sido desarrolladas, desde los procesos de fermentación hasta las técnicas de inmovilización y el desarrollo de las técnicas de ADN recombinante, a las que se ha denominado ingeniería genética.

[2] El trabajo que aquí se presenta incluye algunos de los aspectos más importantes de los resultados de la investigación que dio lugar a la tesis doctoral en política científica y tecnológica: Casas, R., *Biotechnology Research in Mexico. Relevance for the Agricultural and Food Sector*, SPRU, Universidad de Sussex, Inglaterra, 1989. Actualmente se trabaja en la edición de este texto en español y en su actualización para su próxima publicación.

[3] La investigación estuvo basada en trabajo de campo realizado mediante entrevistas directas con los participantes de la biotecnología, tanto investigadores como funcionarios públicos. La técnica empleada para la recopilación de la información fue la entrevista directa y abierta. Cuando no fue posible realizar la entrevista (lo que ocurrió para un grupo de instituciones localizadas en otras entidades federativas) se enviaron cuestionarios por correo. En total se realizaron 80 entrevistas con investigadores, 6 con funcionarios públicos y 5 con funcionarios de empresas públicas y privadas. El trabajo de campo fue realizado entre octubre de 1986 y junio de 1987, por lo que las conclusiones de este estudio reflejan las tendencias imperantes hacia fines de 1987, mismas que pueden aún extenderse hasta 1990, a pesar de haberse producido cambios en algunas instituciones de investigación y en la organización de las políticas gubernamentales relacionadas con esta área.

[4] Para profundizar en este aspecto uno de las mejores análisis que puede consultarse es el de Kenney, M. (1986), *Biotechnology. The University-Industrial Complex*, Yale University Press, New Haven, 306 pp.

[5] Entre otras cabe destacar las siguientes, enfocadas principalmente a los impactos de la biotecnología en América Latina, en algunas de las cuales se ha tenido oportunidad de participar OPS-OMS, *Problemas para el desarrollo de una biotecnología autónoma para América Latina*, Washington, D.C., 5-9 diciembre de 1983; BID-CIMMYT, *Seminario de estrategias para fortalecer la investigación agrícola en América Latina y el Caribe*, México, 10-12 septiembre de 1984; Asoc. Interciencia-USAID-IDRC-CATIE, *Biotechnology in the Americas: II*, San José, Costa Rica, 14-17 julio 1985; CEPAL-Centre for US-Mexican Studies, *Biotechnology and Food Systems*, La Joya, 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 en México y Centroamérica*, Tegucigalpa, Honduras, 6-10 abril 1987; *Seminario Internacional sobre Biotecnología y Comercio Internacional*, 20-22 junio, Maastricht, Holanda, 1990.

[6] Sin embargo, considero que en el futuro próximo sería muy importante realizar un esfuerzo académico para contar con un análisis histórico de este campo de investigación. Esto ayudaría a determinar la naturaleza de la capacidad de investigación con la que cuenta el país en biotecnología no sólo en términos cuantitativos sino en tradición científico-técnica. Dicho análisis ayudaría a rescatar algunas de las orientaciones relevantes de la biotecnología y a optimizarlas para incidir en el corto y mediano plazos sobre la problemática socioeconómica del país.

[7] El significado de las siglas empleadas en el texto para denominar a las instituciones de investigación en biotecnología puede consultarse en el Anexo.

[8] Dichos financiamientos se clasificaron para efectos de este trabajo en las dos grandes áreas en las que se ha dividido la investigación biotecnológica agroalimentaria. El CONACYT en ese entonces no consideraba a la biotecnología como un programa separado, sino que los financiamientos para proyectos de investigación en esta área se encontraban contenidos en los siguientes programas 1) Programa indicativo para el desarrollo tecnológico de la agroindustria, 2) Programa para la excelencia en la investigación, 3) Programa de investigación sobre la naturaleza y la sociedad, 4) Programa de recursos naturales renovables y 5) Programa de riesgo compartido.

[9] Como es de todos conocido el INIREB, por diversas razones de orden político, dejó de existir a fines de 1988. En sus instalaciones se ha integrado al Instituto de Ecología que desde 1989 tiene su sede en la ciudad de Xalapa, Ver.

BIBLIOGRAFIA:

Buttel, F., Kenney, M. y Kloppenburg, J. (1985). "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.

Buttel, F. y Kenney, M. (1985). "Biotechnology and International development: prospects for overcoming dependence in the information age", *Bulletin*, Num. 143, Department of Rural Sociology, Marzo, Cornell University.

Cruz Camarillo, R. (1986). Entrevista personal, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N., 28 de octubre, México

Dembo, D., Dias, C. y Morehouse, W. (1985). "Social impacts in developing countries of the privatization of biotechnology", *Social, economic and legal aspects of biotechnology in Brazil*, Brasilia (en prensa).

De la Torre, M. (1986). Entrevista personal realizada en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV, 11 de noviembre, México.

De la Torre, M. (1990), "La producción de lácteos y aditivos de alimentos a partir de la levadura torula de la caña de azúcar", *Primer Seminario de la Producción de Bienes y Servicios Básicos y Alternativas de Desarrollo*, CIIH- UNAM 22-24 octubre.

"Convocatoria del CONACYT para el Programa de Biotecnología". *El Nacional*, 11 de septiembre, México.

Herrera Estrella, L. (1986). Entrevista personal, CINVESTAV-Irapuato, 20 de noviembre, México.

Hobbelink, H. y Ruivenkamp, G. (1986). "Biotecnología y Tercer Mundo: Desenmascaramiento de una nueva promesa", *Revista de CIDOB, D'Afers Internacionals*, Invierno, Barcelona.

Juma, C. (1989). *The Gene Hunters. Biotechnology and the Scramble for Seeds*, African Centre for Technology Studies, Research Series Num. 1, Zed Books-Princeton University Press, Londres y EUA.

Leal-Lara, H. (1985). "La utilización microbiológica de desperdicios lignocelulósicos", en: QUINTERO, R. (comp.), *Prospectiva de la biotecnología en México*, Fundación Javier Barros Sierra-CONACYT, México.

Litchfield, J.H. (1984). "Single Cell Proteins", en: Abelson, P.H., *Biotechnology and biotechnological frontiers, Special Number of Science, A.A.A.S.*, pp. 260-283.

Loyola, V. (1986). Entrevista personal, Departamento de Bioquímica de Plantas, Facultad de Química, UNAM, 7 de octubre, México.

Morehouse, W. y Dembo, D. (1984). *Transnational Corporations in Biotechnology*, Reporte de una consultoría para UN-CTC, Centro de las Naciones Unidas sobre Corporaciones Transnacionales, Nueva York.

SPP-CONACYT (1990). *Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994*, SPP-CONACYT, México.

Robert, M. y Loyola, VM. (eds.) (1985). *El Cultivo de tejidos vegetales en México*, CICY-CONACYT, México.

Sasson, A. (1986). *Quelles biotechnologies pour les pays en developement?*, Biofutur-UNESCO, París.

Villalobos, V. (1986). Entrevista personal, Centro de Genética, Colegio de Posgraduados de Chapingo, 12 de noviembre, México.