

Potencial de la investigación biotecnológica agrícola en México

ROSALBA CASAS

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario mexicano atraviesa actualmente 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 alternativa 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.

En esa estrategia, es necesario redefinir el papel de la tecnología agroindustrial, que debería ir más allá del simple aumento de la productividad, y marcar nuevos parámetros que la orienten a regiones que no han recibido estímulos y a tierras en las cuales hasta ahora se hacen difíciles esas actividades. La solución a la crisis del sector agropecuario no depende exclusivamente de la introducción de nuevas tecnologías, ya que es ampliamente sabido que dicha crisis obedece, en gran parte, a factores políticos. Sin embargo, puesto que nuestra área de interés es la política científica y tecnológica, creemos importante analizar la orientación de la investigación agrícola en el país, a través de los avances que están ocurriendo en las nuevas tecnologías, concretamente en la biotecnología.

Por biotecnología se entiende, desde una perspectiva amplia, el procesamiento industrial de materiales por medio de microorganismos y otros agentes biológicos para producir bienes y servicios (FAST, 1980). La biotecnología relacionada con el sector agroindustrial consiste en la aplicación de técnicas tales como la ingeniería genética, de ADN recombinante, procesos enzimáticos y sistemas de ingeniería de cultivos y especies agrícolas. La biotecnología ofrece la posibilidad de producir, a partir de recursos renovables y disponibles en abundancia, gran número de sustancias y compuestos esenciales para la vida y para mejorar la condición del hombre (Sasson, 1984).

Esta nueva tecnología, que es un área interdisciplinaria conformada por la microbiología, la bioquímica, la ingeniería química y la genética, se institucionaliza como campo de investigación durante la década de 1960.

Sus aplicaciones e impactos se relacionan con muy diversos sectores; sin embargo, se considera que en el sector agrícola es donde se darán los cambios más importantes que harán posible la producción de plantas y cultivos en zonas donde antes no era factible. Mediante las nuevas técnicas biotecnológicas será posible generar especies resistentes a la sequía, plantas fijadoras de su propio nitrógeno, plantas resistentes a plagas y pestes, así como la producción de plantas con mayores contenidos nutricionales y la generación de nuevos productos agroindustriales.

Todos esos atractivos potenciales de la biotecnología la han llevado a ser vista por algunos analistas como la solución a la crisis de los sectores agrícolas y a considerársele como una panacea 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 mismos países en desarrollo (UNIDO, 1981; FAST, 1982; OPS, 1983; National Academy of Sciences, 1982; TEPLA, 1986). En todos estos foros se ha argumentado que la biotecnología es 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 el desarrollo de la biotecnología, lo que ha llevado a concertar acciones a nivel internacional para apoyar el desarrollo de una biotecnología adecuada a las necesidades del Tercer Mundo. Una de esas acciones es el acuerdo para la creación de un Centro Internacional sobre Ingeniería Genética y Biotecnología, dependiente de UNIDO, con el propósito de estimular el intercambio entre el conocimiento avanzado y las necesidades y recursos de los países en desarrollo para procurar la expresión de su creatividad en cada lugar específico (UNIDO, 1981).

Dentro de este panorama surgen grandes interrogantes respecto a la relevancia real de la biotecnología y a la forma como los países en desarrollo pueden incorporarse a los avances de esta área de investigación y adecuarla a las necesidades específicas de cada una de sus realidades. Uno de los aspectos de interés para definir las potencialidades de la biotecnología, es considerar las capacidades con las que cuentan los países en desarrollo, tanto para incorporar y adaptar tecnologías importadas, como para poner en práctica sus propios desarrollos.

En el caso de México, ese aspecto es sumamente relevante, ya que se trata de un país con varias décadas de desarrollo en las diferentes disciplinas que constituyen la biotecnología, por lo que el análisis de las orientaciones y capacidades relacionadas con los sectores agrícola y agroindustrial permitirá ayudar a definir las potencialidades de esa área de investigación para el país, así como a prever los impactos que esas tecnologías tendrían sobre el sector agroindustrial.

El análisis que se hace en este artículo¹ es producto de una evaluación cualitativa de las tendencias de la investigación biotecnológica en el país, en el que se consideran aspectos tales como las características de las líneas de investigación, las técnicas que se emplean, los cultivos que se investigan, así como los productos finales que se pretende generar. Se establece una diferenciación entre lo que hemos denominado biotecnología agrícola, que incide propiamente en la producción de plantas y cultivos mediante técnicas de "cultivo-in vitro", y la biotecnología agroindustrial, orientada a la producción de insumos agrícolas o a la utilización de esquilmos y subproductos agroindustriales para la producción de nuevos productos alimenticios o de uso agrícola.²

El análisis de las tendencias actuales de la investigación biotecnológica, está basado en la consideración de los siguientes parámetros: viabilidad científico-técnica de los procesos que se investigan; factibilidad económica de los procesos que se han desarrollado en los centros de investigación; vinculaciones de los centros de investigación con el sector productivo; limitaciones institucionales para el desarrollo de la investigación, tales como financiamiento y recursos; espacios políticos existentes, tanto para el desarrollo de las áreas de investigación como para su potencial aplicación y utilización, y relevancia de la capacidad científica y tecnológica para las necesidades sociales de la población, concretamente para la agricultura y la alimentación.

Esta evaluación tiene como objeto determinar la relevancia de esa capacidad e investigación en relación con algunos de los aspectos centrales de la problemática agrícola y alimentaria del país, que desde nuestra perspectiva podrían ser mejorados mediante asistencia científico-técnica. Entre esos aspectos hemos considerado como importantes los siguientes:

a) Estímulo a la producción agrícola en tierras en donde hasta ahora se hace difícil esta actividad, tales como las zonas de temporal, las zonas áridas y las tierras del trópico húmedo.

¹ El reporte final de esta investigación será publicado en poco tiempo y ha sido elaborado por Rosalba Casas, investigadora del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM, y Karel Chambille, investigador adscrito al Proyecto "Biotecnología y Alimentación en México y Centro América", coordinado por el doctor Gonzalo Arroyo de la UAM-Xochimilco.

² El análisis se desarrolló con base en la investigación directa con los diferentes actores sociales que intervienen en la generación de esta área de investigación. La técnica empleada para recopilar la información ha sido la entrevista directa y abierta con los actores, mediante la utilización de un guión preestablecido. Cuando no se pudo recurrir a la investigación directa se optó por la aplicación de un cuestionario enviado por correo y elaborado con base en la experiencia adquirida durante las entrevistas. Los actores considerados fueron: a) los investigadores en biotecnología; b) funcionarios públicos que intervienen en la política explícita e implícita en biotecnología, y c) funcionarios de empresas estatales y privadas que emplean o están interesados en emplear procesos biotecnológicos. En total se realizaron aproximadamente 100 entrevistas y se enviaron cuestionarios a 20 instituciones del interior del país.

b) Mejoramiento de las semillas que generan los cultivos que constituyen la dieta básica de la población, como maíz, frijol, caña de azúcar y oleaginosas; se requiere de semillas que permitan incrementar la productividad de tierras no irrigadas, produciendo plantas resistentes a la sequía, así como a las diferentes plagas que las atacan.

c) Mejoramiento del contenido nutricional de los granos básicos, elevando su contenido de aminoácidos, así como extender a nivel nacional la producción de los aminoácidos básicos que podrían ser introducidos en los alimentos que tradicionalmente consume la población.

d) La intensificación de la ganadería en el país y la consecuente "ganaderización" de la agricultura, ha originado una competencia entre la producción de cultivos para alimentación humana y para alimentación animal. Independientemente de la modificación del patrón actual de desarrollo de la ganadería y de la aplicación de políticas para el desarrollo de una ganadería intensiva, se hace necesario encontrar alimentos alternativos para los animales, que puedan llevar a sustituir el esquema actual de producción de alimentos balanceados, mediante el empleo de otros recursos, lo cual permitiría liberar cultivos que podrían destinarse a la alimentación humana y al mismo tiempo disminuir las importaciones de sorgo, soya y maíz.

e) Los problemas relacionados con el almacenamiento en la fase de poscosecha, que se traducen en grandes pérdidas de granos básicos, plantean la necesidad de contar con técnicas adecuadas de almacenamiento y conservación de productos agrícolas desde la etapa de la cosecha hasta su llegada a los centros de consumo.

Este análisis de las orientaciones actuales de la investigación biotecnológica en el país nos permitirá determinar las posibilidades que presenta esta área de investigación para solucionar los requerimientos planteados con anterioridad; asimismo, nos permitirá identificar las limitaciones que es necesario superar para que la biotecnología se oriente a satisfacer las demandas del sector agroindustrial.

1. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y ÁREAS DE INCIDENCIA

En este apartado se presenta el análisis de las características de las líneas de investigación que se desarrollan en las dos áreas que son motivo de nuestro estudio: la biotecnología agrícola y la biotecnología agroindustrial. Se presenta una sistematización de los avances logrados en estas áreas, el tipo de cultivos y subproductos agrícolas que se consideran, así como los productos e insumos agrícolas y agroindustriales que se pretende obtener.

1.1. *Biotecnología agrícola*

En el área de la biotecnología agrícola se incluyen cuatro campos más específicos, dos de ellos, la ingeniería genética de plantas y el cultivo de

tejidos vegetales, son propiamente biotecnológicos; los otros dos abarcan los estudios básicos en bioquímica, biología y fisiología, así como la microbiología del suelo, que representan áreas a partir de las cuales es posible gestar desarrollos biotecnológicos.

Respecto a la *ingeniería genética de plantas*, el país cuenta con un solo centro de investigación, que es el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), en su subsede de Irapuato, Guanajuato. El objetivo de este centro es desarrollar plantas resistentes a virus, hongos y herbicidas mediante técnicas de ingeniería genética, tales como fusión de protoplastos y ADN recombinante. Actualmente, se trabaja a corto plazo en tabaco y jitomate y a mediano plazo en frijol y papaya. También se tiene pensado entrar al estudio del amaranto, que no es gramínea sino dicotiledónea, lo que facilita su manejo mediante la ingeniería genética.

Los avances más importantes se manifiestan en tabaco y jitomate, que son plantas que no presentan mayores problemas en la regeneración de células. Las otras especies son más difíciles y es necesario aún desarrollar métodos de trabajo para producir resultados satisfactorios, que sólo serán factibles en el largo plazo.

En el caso del frijol se trabaja con las especies que se cultivan en El Bajío, tratando de crear variedades resistentes a los insectos que han devastado la producción de frijol en esa zona. Mediante técnicas de ingeniería genética se introduce a la planta una bacteria que ataca al insecto cuando éste muerde a la planta, provocando así una acción insecticida. Esta investigación se realiza en estrecho contacto con el Centro de Investigaciones Agrícolas del Bajío, quienes realizarán las pruebas de campo en sus terrenos.

En cuanto al *cultivo de tejidos vegetales*, actualmente treinta instituciones en el país trabajan en esta área, predominando la aplicación de técnicas de micropropagación. Ésta consiste en la propagación de plantas *in vitro* a partir de tejidos, órganos o células de una planta madre, lo cual permite la producción rápida y masiva de plantas genéticamente idénticas. Se trabaja también esta área en la preservación del germoplasma y la producción de metabolitos secundarios. Se consideran cultivos que pueden quedar agrupados en las siguientes especies: frutales y ornamentales y especies industriales para la producción de metabolitos secundarios, que son sustancias que se generan para uso médico y farmacológico.

En la micropropagación se trata de desarrollar métodos para reproducir aquellos cultivos seleccionados. Son técnicas relativamente fáciles que se aplican principalmente a plantas que se pueden comercializar sin problema; sin embargo, aún son difíciles de aplicar a otros cultivos como los cereales y las leguminosas. Una vez conocida la técnica, el trabajo es rutinario y no implica más desarrollo de investigación.

En general, no se observa mucho trabajo de investigación en técnicas más sofisticadas, como la fusión de protoplastos o el aprovechamiento

de la variación somaclonal. Además, resalta la falta de interés por las gramíneas (maíz, trigo, arroz) y las leguminosas, debido fundamentalmente a que estos cultivos se reproducen por semillas, por lo que la micropropagación no es una técnica adecuada para estas especies. La única importancia que puede tener la biotecnología en este caso es en el mejoramiento genético de sus semillas.

Los *estudios básicos* en bioquímica, biología y fisiología prestan gran atención a cultivos como el maíz, frijol, sorgo y arroz, y estos estudios pueden tener impactos en dos fases de la cadena productiva: la fase agrícola y la fase poscosecha.

En cuanto a la *fase agrícola*, los estudios buscan la relación entre las características importantes de los granos (como potencial productivo o germinación) y las características moleculares o celulares, de la fisiología de la planta. Estos estudios son básicos, pero los conocimientos generados podrían permitir la aceleración de los programas de fitomejoramiento en estos granos, sobre todo si se piensa en programas de fitomejoramiento tradicional, dadas las limitaciones que todavía existen para las gramíneas en el uso de técnicas de ADN recombinante, es decir, de ingeniería genética.

En relación con la *fase poscosecha*, los estudios se centran en el problema de las pérdidas cuantitativas y cualitativas, como el endurecimiento del frijol durante el almacenamiento. Algunas de estas investigaciones son de carácter básico, pero de obtener resultados se eliminarían los elementos que determinan el endurecimiento de granos, lo cual, aunado a mejores técnicas de almacenamiento, reduciría notablemente las pérdidas que se tienen actualmente.

El área de *microbiología del suelo* es de bastante tradición en el país y en ella trabaja un gran número de instituciones (catorce aproximadamente). Aquí, la atención está centrada en los problemas de fijación de nitrógeno y fósforo y en la búsqueda de microorganismos que ayuden a las plantas a fijarlos. Se estudian tanto microorganismos fijadores de nitrógeno (*Rhizobium*, Algas *Azospirillum*), como los fijadores de fósforo (exo y endo-micorrizas). Los estudios que se realizan incluyen: pruebas de inoculación de *Rhizobium*; selección de mejores cepas; pruebas de inoculantes comerciales; mutación de *Rhizobium*; respuesta de frijol a inoculación; estudio de exo y endo-micorrizas, y estudio de la simbiosis *Azolla-algae*.

En esta área prevalecen dos enfoques: el primero de ellos se refiere al estudio de los fenómenos naturales de fijación de nitrógeno, búsqueda de cepas que lo fijen mejor, así como la producción de nuevos inoculantes y pruebas de campo sobre la poca efectividad de los inoculantes comerciales. El otro enfoque, en el que trabaja el Centro de Fijación de Nitrógeno de la UNAM, es el de biología molecular básica, que estudia concretamente a los microorganismos fijadores de nitrógeno, que por sus escasas perspectivas prácticas o de aplicación encuentra gran escepticismo entre los demás investigadores del área. Dicho escepticismo se hizo patente en el I Congreso Nacional sobre la Fijación de Nitrógeno, celebrado recientemente, en don-

de se mantuvieron un tanto marginados los biólogos moleculares, predominando la presentación de trabajos con el primer enfoque.

La investigación en biotecnología agrícola se orienta a la producción de insumos para la agricultura en tres renglones diferentes:

a) *Semillas*, trabajándose en mejoramiento de cultivos tales como café, tabaco, frijol y árboles. También se desarrollan esfuerzos importantes en mejoramiento de material vegetativo. En este renglón, cabe afirmar que el mejoramiento genético es una de las áreas que actualmente recibe menor atención.

b) *Fertilizantes*. La sustitución de fertilizantes por plantas que fijen el nitrógeno en forma natural es una de las promesas de la biotecnología que vendría a terminar con la dependencia de los fertilizantes químicos y con los problemas que éstos ocasionan en las tierras agrícolas. Sin embargo, este proceso hasta ahora solamente es posible en las leguminosas. Es posible modificar y mejorar la simbiosis, pero aún no se ha logrado modificar genéticamente a la planta.

Otra de las orientaciones en esta área es la selección de cepas que mejoren la fijación del nitrógeno, lo que podría mejorar la producción de inoculantes. Asimismo, las micorrizas, que son hongos que se asocian con las raíces de las plantas, producen los efectos de inoculantes. Existen avances importantes en esta área de investigación que podrían aplicarse en la industria. Sin embargo, hasta ahora la producción de inoculantes está monopolizada por dos empresas de capital extranjero: Nitragín y Química Lucava.

c) *Bioinsecticidas*. Actualmente existen cuatro instituciones de investigación en el país que trabajan en procesos tecnológicos para la producción de este insumo, que vendría a reemplazar el uso de los insecticidas químicos. Uno de dichos procesos está bastante avanzado y se prevé en el corto plazo su industrialización.

1.2. *Biotecnología agroindustrial*

Desde hace varias décadas en México se realizan investigaciones en esta área originadas en lo que se ha denominado biotecnología tradicional, en la producción de bebidas fermentadas. Además, la microbiología industrial, que es una de las disciplinas en las que se sustentan los procesos biotecnológicos, ha sido un área de investigación promovida por distintas instituciones del sector educativo desde la década de 1940 y en la cual se han formado importantes recursos humanos.

Las actuales orientaciones de esta área de investigación consideran la optimización de procesos ya conocidos para hacerlos más rentables. Las investigaciones están basadas fundamentalmente en el uso de subproductos agroindustriales y esquilmos agrícolas y en su orientación hacia productos o procesos relevantes para los sectores agropecuario, alimentario y energé-

tico. Dichas orientaciones parten de la consideración, por parte de los investigadores, de algunos de los elementos básicos de la actual problemática alimentaria en el país, y se orientan a:

a) presentar alternativas para la alimentación animal y contribuir a resolver la actual competencia entre productos orientados a esa alimentación y la humana;

b) sustituir las importaciones de los cultivos que se emplean en los alimentos balanceados, así como de los insumos que se emplean en la industria alimentaria;

c) liberar los granos básicos y orientarlos exclusivamente al consumo humano;

d) solucionar los problemas de contaminación que originan los esquilmos agrícolas y los subproductos agroindustriales, y

e) diseñar procesos para el uso integral de esquilmos y subproductos, orientándolos tanto a la producción de alimentos, como a la de energéticos y de insumos para la agricultura y la industria alimentaria.

En cuanto al *nivel de producción* al que se orienta la investigación, percibimos la existencia de dos enfoques: por una parte, los procesos biotecnológicos que pueden ser implantados en pequeñas comunidades y, por otra, aquellos otros procesos que implican un nivel tecnológico más sofisticado y a gran escala. Estos enfoques no son excluyentes y podrían realizarse simultáneamente.

Los procesos biotecnológicos que se investigan están orientados a una gran variedad de productos importantes, tanto para el sector agroindustrial como para el alimentario. Así, podemos agrupar dichos productos en los siguientes rubros: producción de biomasa con fines alimentarios: fundamentalmente proteínas de origen unicelular y forrajes enriquecidos; suplementos energéticos para animales; producción de biomasa con fines energéticos y producción de biogás; bioinsecticidas y biofertilizantes para la agricultura, utilizando esquilmos y subproductos; enzimas de uso alimenticio y hongos para consumo humano.

Los investigadores en esta área emplean diferentes técnicas para el desarrollo de los procesos mencionados más arriba. Predomina la técnica de fermentación líquida o sumergida, que se emplea para la producción de proteínas de origen unicelular; se utiliza también la fermentación sólida, que se orienta a la producción de forrajes enriquecidos, y con la que se desarrollan diferentes enfoques que varían tanto en los microorganismos que se emplean (distintos hongos) como en el tipo de tecnología que se usa para el proceso de fermentación. Existe gran interés por el desarrollo de estas técnicas y predominan los enfoques introducidos por investigadores franceses de ORTSOM.

También se trabaja en la producción de setas comestibles (hongos), empleándose diferentes sustratos para su cultivo, los trabajos se concentran en el cultivo de champiñón y en el de *Pleurotus ostreatus* (hongo ostión); también se aplican las técnicas de ingeniería enzimática, orientadas tanto

a la producción de enzimas de uso industrial o de laboratorio, como a la inmovilización de enzimas ya existentes en el mercado y que pueden optimizar los procesos biotecnológicos; por último, se realizan algunos esfuerzos con técnicas de ingeniería genética para el mejoramiento de los microorganismos que se emplean en los procesos de fermentación.

En la investigación sobre *sustratos*, que es uno de los renglones más interesantes cuando se analiza la capacidad de investigación con la que cuenta el país, se observa una gran diversidad de subproductos y esquilmos, así como muy diferentes usos y gran variedad de productos finales a los que se pretende llegar. Los sustratos con los que se investiga actualmente pueden agruparse en los siguientes rubros:

a) *Carbohidratos*. Se trabaja con melazas para la producción de proteína de origen unicelular (POU); con yuca para la producción de yuca enriquecida, proteínas foliares, enzimas y etanol; con suero de leche, que es el residuo de la fabricación del queso, para la producción de POU, enzima B-galactosidasa y lipasas para la producción de leches deslactosadas; con residuos de frutas para la producción de enzimas de uso alimenticio y con desechos de hortalizas para alimentación animal y humana.

b) *Residuos lignocelulósicos*. Se considera el uso del bagazo y bagacillo de caña de azúcar tanto para la producción de POU como para la de forrajes enriquecidos; pulpa de henequén para forrajes enriquecidos y pectinasas y, finalmente, residuos forestales, paja de trigo y bagazo de guayule, cuyo principal objetivo es la proteína de origen unicelular.

c) *Otros sustratos*. Metanol y gas metano, también con una orientación a la producción de POU; excretas animales, orientadas en un proceso integral tanto para la producción de biogás como para la producción de suplemento energético para animales; residuos quitinósicos, que son los desechos del camarón y fauna de acompañamiento, cuyo objetivo es la producción de enzimas con distintos usos; pulpa de café, cuyo uso se orienta tanto a la producción de setas comestibles, como a la de fertilizantes y biogás en un proceso integral, y aguas residuales de distintas industrias (nejayote y vinazas), que se orienta hacia distintos productos como POU, gas metano, ácido láctico y fertilizantes orgánicos.

Es importante mencionar que muchos de estos sustratos ya han sido estudiados por diferentes centros de investigación. Algunas de estas investigaciones han sido terminadas y otras han tenido que suspenderse debido a la falta de recursos y de infraestructura necesarios para continuar. Entre estas investigaciones destacan las que no han podido aplicarse por problemas de factibilidad económica, porque no ha sido posible escalar los procesos a nivel piloto, o bien porque no han logrado resolverse algunas de las limitaciones científico-técnicas que aún presentan los procesos. Lo anterior es importante, ya que entre las líneas de investigación que se desarrollan actualmente percibimos que los investigadores desconocen muchas veces las experiencias previas de otros investigadores, lo que origina que sus proyectos en proceso se enfrenten a pocas posibilidades de éxito.

Si bien es cierto que la concentración de esfuerzos de investigación en el área de producción de proteínas de origen unicelular ha estado determinado por el *boom* que esta línea de investigación tuvo durante la década de 1970, desde nuestro punto de vista esta dirección de la investigación también obedece a circunstancias específicas de nuestro país, y los investigadores buscan nuevas opciones para la alimentación mediante el uso de nuestros recursos naturales, entre los que se encuentran los esquilmos y subproductos agroindustriales.

Si observamos los tipos de sustratos que se emplean en el mundo desarrollado y a partir de los cuales se aplican las tecnologías para la producción de proteínas de origen unicelular, vemos que éstas están basadas mayormente en el uso de metanol, parafinas, etanol y algunos carbohidratos tales como melazas, suero de leche y licores sulfúricos. Solamente en el caso de la URSS, que es el mayor productor de pou (1 millón de toneladas anuales), se emplean sustratos agroindustriales además de hidrocarburos, fundamentalmente lignocelulósicos, tales como residuos de madera y agrícolas (Sasson, 1984).

Algunos especialistas afirman que México ha entrado a la moda de la pou cuando ésta ya ha dejado de serlo a nivel mundial. Pero desde nuestro punto de vista esto no es así, ya que el desinterés de los países desarrollados en esta línea de investigación se debe fundamentalmente a que no son deficitarios en producción de proteínas. La situación para México es diferente, por lo que aún cuando hay que resolver cuellos de botella relacionados tanto con la viabilidad científico-técnica de los procesos, como con la factibilidad económica de los mismos, la producción de pou a partir de esquilmos agrícolas representa una opción para la producción de proteínas y para la satisfacción de las necesidades del país en este renglón. La orientación de la investigación en México está dada por la consideración de carbohidratos y residuos lignocelulósicos, que no parecen ser las orientaciones actuales en el mundo desarrollado.

2. VIABILIDAD CIENTÍFICO-TÉCNICA DE LOS PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

Una de las principales limitaciones de la biotecnología agrícola ocurre por el escaso desarrollo de las técnicas aplicadas a cultivos básicos, es decir, gramíneas y leguminosas. Dado el desarrollo actual de las técnicas, la orientación se da hacia cultivos hortícolas y ornamentales en los que es factible la aplicación o desarrollo de técnicas de cultivo de tejidos, específicamente de micropropagación.

Algunas instituciones como el CINVESTAV-Irapuato, a pesar de estar interesadas en la aplicación de las técnicas de ingeniería genética a cultivos relevantes para la alimentación de la población, ha decidido trabajar en cultivos comerciales, como el tabaco, con los que en el corto plazo (3 años) será posible tener resultados y haber producido plantas resistentes a virus,

puesto que esta investigación ya se realizó anteriormente por el investigador responsable durante su estadía en el extranjero. Con esta estrategia, lo que pretenden es convencer con hechos al sector productivo de los éxitos a los que puede llegar la ingeniería genética, y con esto generar credibilidad para desarrollar proyectos de investigación con cultivos básicos cuyos resultados serían factibles en el largo plazo.

En cuanto a las limitaciones científico-técnicas de la biotecnología agro-industrial encontramos cuatro entre las más importantes. En primer término, como se mencionó con anterioridad, gran parte de los sustratos con los que se trabaja son de origen lignocelulósico. Esto plantea problemas técnicos importantes, puesto que para poder ser empleados con fines alimenticios es necesario degradar la lignina cuyas características físicas y químicas son de la mayor importancia. La lignina está íntimamente unida a la celulosa y la hemicelulosa y su formación es muy compleja y poco entendida. Al no degradarse la lignina sino solamente la celulosa por medio de procesos bioquímicos se deja de emplear una parte importante de material susceptible de ser transformado por los microorganismos en proteínas, con lo cual el proceso se hace poco rentable (Leal Lara, 1985).

Este problema no es comprendido de igual forma por los investigadores que trabajan con estos residuos, y se plantean, por lo tanto, diferentes opciones para el uso de los mismos. El primer enfoque consiste en dar un pretratamiento a los residuos, ya sea de tipo químico (sosa o amoniaco), o un tratamiento térmico a vapor para degradar la lignina, después de lo cual se desarrolla el proceso de fermentación. Otra opción es el empleo de los hongos de la pudrición blanca que, según las investigaciones desarrolladas, son los únicos capaces de degradar la lignina. De resolverse esta gran limitante, se podría utilizar un gran volumen de residuos con un alto potencial para convertirse en fuente proteica para la alimentación.

La segunda limitación importante para el éxito de la biotecnología es la infraestructura para el escalamiento de los procesos que han probado ser factibles en laboratorio. La mayor parte de las instituciones de investigación no cuentan con instalaciones piloto. Pero no se trata solamente de contar con fermentadores de tamaño medio o grande en los cuales se puedan probar las bondades de los procesos. A esto debe aunarse la tecnología de recuperación sin la cual no es posible hablar de planta piloto. En México solamente 6 instituciones tienen instaladas plantas piloto, con fermentadores de al menos 100 litros y no todas ellas cuentan con el equipo de recuperación.

Las limitaciones que enfrentan los centros de investigación para la adquisición de equipo han llevado a algunos investigadores a formar una red de plantas piloto que permita, por un lado, el uso intenso de las instalaciones y, por otro, su uso por instituciones que no cuentan con ellas. Esto podría canalizarse como un servicio externo que captaría fondos adicionales que podrían ser destinados a la investigación básica de las instituciones oferentes. A esto habría que agregar que aún se hace necesaria

la formación de recursos en bioingeniería, que permitan desarrollar endógenamente los equipos e instrumentos necesarios para el escalamiento de los procesos biotecnológicos.

Una tercera limitación está dada por el incipiente desarrollo de las técnicas de fermentación sólida y por la poca discusión que se da entre los investigadores para el avance de este campo de investigación. Estos procesos son empleados para elevar el valor de los subproductos o desechos agrícolas y forestales y transformarlos en alimentos para animales. La fermentación en sustrato sólido es una tecnología que puede ser desarrollada tanto a pequeña escala como a escala industrial y ha sido considerada por algunos autores una biotecnología apropiada para los países en desarrollo (Carrizales y Jaffe, 1986).

La opción por estas técnicas debería restringirse a sustratos con poco contenido de humedad, para así evitarse el secado del sustrato, que constituye una etapa generalmente costosa y que, al menos en el caso de la yuca, parece ser una de las partes que ha presentado mayores problemas.

Una última limitante se pone en evidencia en los reducidos esfuerzos que se invierten para el mejoramiento genético de los microorganismos, tanto mediante técnicas de la genética clásica, como por medio de la ingeniería genética. Detectamos sólo un proyecto de investigación en el que se considera el mejoramiento genético, por las potencialidades que esto ofrece a la optimización económica del proceso biotecnológico para la obtención de POU y bagazo enriquecido a partir de bagazo de caña.

3. FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LOS PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

En la biotecnología agrícola las únicas técnicas que han sido aplicadas comercialmente son las de cultivo de tejidos vegetales. Éstas han demostrado su factibilidad económica y ya existen algunas pequeñas empresas privadas que producen material vegetativo para la exportación.

La factibilidad económica representa una de las limitantes más importantes en el desarrollo de la biotecnología agroindustrial. Una gran parte de los procesos generados en los centros de investigación se detienen por su poca rentabilidad o porque simplemente no es posible demostrar su factibilidad económica. Esto hace indispensable que los investigadores elaboren o se asesoren para realizar estudios de factibilidad que consideren las diferentes etapas y montos de inversión de los procesos. Asimismo, se hace necesario comparar distintos procesos mediante el uso de diferentes subproductos o esquilmos, o mediante diferentes tecnologías.

Estos estudios de factibilidad, en los que deben considerarse los procesos tecnológicos existentes y determinar qué etapas del proceso es necesario optimizar, podrían ayudar a priorizar entre la gran oferta de subproductos y esquilmos existentes en el país.

Algunos de los desarrollos tecnológicos que se realizan actualmente en

el país se orientan a la optimización de los procesos y tecnologías ya existentes en otros países, mediante desarrollos propios que permitan hacer más rentable el producto que se pretende obtener. Éste sería el caso de uno de los proyectos más avanzados en México, que consiste en la adaptación de una tecnología austriaca que se usa en Cuba para la producción de levadura torula a partir de melazas. Esta levadura se emplea en ese país para alimentación humana. Se decidió mejorar este proceso después de realizar una evaluación de las tecnologías existentes para la producción de POU a partir de metanol (proceso ICI) y a partir de bagazo (proceso CINVESTAV), después de la cual se llegó a la conclusión de que el proceso a partir de melazas, después de optimizado el proceso, sería el más rentable. Se trata ahora de aumentar la productividad 4 o 5 veces más que las plantas cubanas mediante el diseño de un nuevo proceso de fermentación.

Los investigadores involucrados en estos estudios han planteado que las investigaciones orientadas a la producción de proteína de origen unicelular deberían considerar procesos con doble o triple objetivo, es decir, la producción de POU, más otro producto de mayor valor agregado que ayude a la rentabilidad de los procesos. Por sí sola, la producción de POU es poco rentable, pero esto se puede mejorar si el proceso se diversifica y por ejemplo se obtiene además una enzima o un aditivo. Esta opción es ya compartida por varios investigadores que han trabajado o que trabajan en la producción de POU. Sin embargo, consideramos que la diversificación de los productos debería ser muy selectiva, ya que de no plantearse en esta forma podría caer en fuertes contradicciones respecto a los productos finales de los procesos y así orientar éstos hacia una mayor rentabilidad, sin considerar su relevancia social. La orientación actual hacia productos más rentables está dada por el uso de POU para la producción de saborizantes comerciales que, al parecer, será una opción que se tomará también en el país.

4. VINCULACIÓN CON EL SECTOR PRODUCTIVO

Al analizar este aspecto llama la atención el gran número de centros de investigación que ya tienen colaboraciones formales con la industria o que se encuentran en proceso de negociación con ella. Esto se explica en gran parte por el carácter inherentemente aplicativo de la biotecnología, cuyo objetivo fundamental es la producción de bienes y servicios. Además, dada la crisis económica que afecta fuertemente a los centros de investigación, su vinculación con el aparato productivo es una forma de obtener financiamientos que aseguren el desarrollo de sus proyectos.

En el área de ingeniería genética existe un contrato entre el CINVESTAV-Irapuato y la empresa estatal Tabamex para el desarrollo, en tres años, de una variedad resistente a virus. Tabamex ha asignado 120 millones de

pesos para esta investigación. El mismo CINVESTAV realiza también contactos con el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA-Bajío, para el proyecto sobre una variedad de frijol resistente a virus.

En el área de cultivo de tejidos vegetales, específicamente en el campo de la micropropagación, es en donde se manifiestan más vinculaciones con la industria, la mayor parte de ellas a través de contratos y no de la aplicación productiva de los procesos. Así, entre las más importantes figuran: el proyecto para la micropropagación de pinos selectos entre el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo y la plantación forestal "La Sabana" de la Fábrica de Papel Tuxtepec (FAPATUX); el proyecto sobre la planta silvestre Toloache entre el Instituto de Biología de la UNAM y la empresa estatal Vitrium y el proyecto para micropropagación de Agave Tequilana entre el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán (CICY) y Tequila Cuervo y el de Agave Potatoris para mezcal entre el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo y el gobierno del estado de Oaxaca.

En cuanto a la aplicación comercial de las técnicas de cultivo de tejidos vegetales, existen dos pequeñas empresas privadas —Biogenética Mexicana y Mexicana de Micropropagación— que producen fundamentalmente material vegetativo que después es empleado por los productores de ornamentales. Entre las empresas públicas que comercializan ya con estos productos se encuentran el Departamento de Floricultura de CONAFRUT, el Centro de Micropropagación del Estado de Oaxaca y el Laboratorio de Cultivo de Tejidos de PROTIMBOS en el Estado de México. Las empresas privadas se orientan a la exportación de sus productos, aunque aún operan a pequeña escala.

Cabe mencionar que algunos investigadores tienen contactos personales con esas empresas y algunas de las empresas privadas han sido formadas por personas que han abandonado la investigación, dado lo atractivo del negocio de exportación.

Durante nuestro trabajo de campo pudimos percibir un interés creciente por invertir en la producción de ornamentales mediante técnicas de micropropagación. Sin embargo, las empresas así interesadas trabajan con especies cuya micropropagación es una actividad rutinaria, por lo que no requieren ni de personal muy calificado y menos aún de contacto o asesoría de los centros de investigación del país.

Uno de los grandes consorcios industriales en el país, el Grupo DESO Sociedad Industrial, que es el mayor *holding* en México y el más diversificado (*El Financiero*, 29 de diciembre de 1986), ha realizado estudios de mercado y ha decidido hacer inversiones en cultivo de tejidos vegetales en especies hortícolas muy rentables y también explora la posibilidad de invertir en la domesticación de cultivos autóctonos para la producción de cosméticos e insecticidas. Sin embargo, este consorcio no piensa entrar a cultivos básicos como maíz y trigo, pues considera que nunca serán rentables (Medina, 1987).

En el área de la biotecnología agroindustrial pudimos percibir convenios y colaboraciones con diferentes entidades del sector productivo tanto estatal como privado. Destacan los proyectos financiados por empresas o por el sector público, que apoyan indistintamente varios proyectos de investigación en diferentes instituciones, con lo que tratan de resolver diversos problemas que conciernen al funcionamiento de la empresa.

Un ejemplo de esta situación podría ilustrarse con la investigación sobre los subproductos del azúcar, que resulta uno de los sustratos más estudiados en el país. En este campo encontramos que la paraestatal Azúcar, S. A. ha financiado y financia diversos proyectos de desarrollo tecnológico orientados tanto al tratamiento de las aguas residuales de los ingenios azucareros, como a resolver los problemas de contaminación que ocasionan subproductos tales como el bagazo, bagacillo y cachaza. Su objetivo es más bien ecológico y, en cierta forma, presionado por los programas para resolver la contaminación emprendidos por la SEDUE. Por su parte, el Sindicato de Azucareros es el interesado en la producción de la levadura torula de melazas y financia uno de los proyectos más caros y más avanzados del país en biotecnología.

El problema de estas vinculaciones es que no existe certeza de que se aplicarán los procesos o los productos generados. Así, por ejemplo, uno de los proyectos ya desarrollados en el CINVESTAV-DF consistió en la instalación de una planta para la producción de fertilizantes orgánicos a partir de bagazo, cachaza y vinazas, pero aún no han podido ser empleados, ya que el dueño del ingenio no ha accedido a ello. Para el caso de la producción de levadura torula, si es que las fuerzas políticas no cambian, es muy probable que dentro de 3 años se pueda ver funcionando la primera empresa productora de POU en México, financiada por un sindicato.

Entre las vinculaciones con la empresa privada destacan las que se refieren a la utilización del suero de leche. Las vinculaciones son aún incipientes; sin embargo, dentro de poco tiempo se decidirá si se industrializa el proceso para la producción de POU por parte de la empresa Kempfuds.

En cuanto a las empresas mexicanas de fermentación, concretamente Fermentaciones Mexicanas (FERMEX), que ya produce aminoácidos con tecnología japonesa, no se percibe ningún interés por el uso de tecnología generada o adaptada en el país. La producción de POU les parece algo fuera de su alcance por los costos tan elevados de producción, por lo que prefieren seguir trabajando con tecnología japonesa y con los técnicos necesarios para la operación de su fábrica de lisina, que ya opera con un proceso de fermentación semicontinuo. Este aminoácido se emplea para la fabricación de alimentos balanceados para cerdos y aves. Esta empresa ha logrado colocarse como uno de los productores de lisina de más bajo costo en el mundo y tiene una posición altamente competitiva en el mercado internacional, lo que justifica para ellos el empleo de tecnología japonesa (Carvallo, 1987 y López Mota, 1987).

En este proceso de vinculación con el sector productivo se percibe cierto interés de los investigadores por constituir pequeñas empresas con-

sultoras o incluso de desarrollo tecnológico, motivados por las experiencias fallidas de vinculación institucional y por el deseo de dar una solución a la crisis económica que afecta directamente sus sueldos como investigadores. Así, encontramos vinculaciones empresariales entre distintos investigadores y una tendencia cada vez más acentuada a colocarse en la empresa privada que ofrece mejores remuneraciones.

5. LIMITACIONES INSTITUCIONALES

Una de las principales limitantes para el desarrollo de la biotecnología es el factor financiamiento. Hasta ahora, las fuentes de financiamiento son predominantemente nacionales; sin embargo, dada la crisis económica que afecta directamente las actividades de investigación, cada vez se extiende más la modalidad de acudir a fuentes extrainstitucionales para financiar las investigaciones, tales como el CONACYT, el COSNET-SEP, los sindicatos o los gobiernos de los estados.

Para el área de ingeniería genética las fuentes están más diversificadas, y se cuenta tanto con fondos de organismos nacionales, como de organismos internacionales, tales como la UNESCO, OEA o la National Academy of Sciences de los Estados Unidos. El hecho de que exista un solo centro de investigación en ingeniería genética de plantas, con el apoyo político de un subsecretario de Estado, hace que éste sea el centro de biotecnología más fuertemente financiado en el país. La diversificación de las fuentes de financiamiento de este centro es intencional y tiene como objetivo no depender tanto de los fondos gubernamentales y evitar la crisis del centro cuando se produzcan los cambios en la estructura política.

Un fenómeno característico de esta área de investigación y, en general, de muchas otras áreas de investigación en el país, es la escasa colaboración interinstitucional. Con excepción de los grupos que trabajan en estudios básicos y que constituyen un pequeño círculo que se mantiene al día de lo que los otros hacen, los demás grupos más bien manifiestan un ambiente de competencia, sobre todo en el área de cultivo de tejidos vegetales, lo que lleva a duplicar las líneas de investigación. Es sintomático el hecho de que a pesar de existir una Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos Vegetales, ésta prácticamente no funciona desde 1985.

En el área de biotecnología agroindustrial no existe difusión de los problemas científico-técnicos que se le presentan al investigador y esto impide el intercambio entre los biotecnólogos y la discusión sobre las ventajas y desventajas respecto a técnicas, procesos o microorganismos adecuados, situación que pudo percibirse nítidamente en el II Congreso de Biotecnología y Bioingeniería realizado recientemente.

Los equipos de investigación son muy reducidos y, salvo casos excepcionales, están constituidos por un investigador titular con grado de doctor, que debe invertir gran parte de su tiempo en cuestiones académico-admi-

nistrativas, y un conjunto de ayudantes o técnicos formado generalmente por estudiantes, en el mejor de los casos de posgrado, y mayoritariamente de licenciatura. No existe una colaboración horizontal, y la mayor parte del trabajo experimental recae en los estudiantes, quienes incluso son los que presentan los trabajos en los congresos nacionales, siendo los investigadores titulares los que acuden a las reuniones internacionales.

6. ESPACIOS POLÍTICOS PARA LA BIOTECNOLOGÍA

El país carece de una política o programa nacional en biotecnología, a pesar de que a principios del sexenio actual se hicieron varios esfuerzos por elaborar un programa en la materia. No obstante, existen elementos dispersos de política que han producido una política desintegrada y poco efectiva para el desarrollo de esta área de investigación, no obstante su trascendencia. Diversos organismos intervienen en la política de desarrollo biotecnológico, tanto nacional como internacionalmente.

6.1. Política nacional

La política nacional 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. Así, entre las más importantes, tenemos:

Secretaría de Educación Pública. A través del COSNET, desde 1982, cuenta con un programa de apoyo a la investigación. Como parte del mismo, ha seleccionado algunas áreas que considera estratégicas, a las cuales canaliza recursos financieros; estas áreas son: bioingeniería y fisiología vegetal e ingeniería genética (COSNET, 1986).

Secretaría de Salubridad y Asistencia. Esta secretaría no cuenta con un programa explícito en biotecnología. Sin embargo, es una de las entidades estatales con mayor poder de apoyo por lo que se refiere a las áreas de salud y cuyo secretario, ex rector de la UNAM, fue fundador del Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología y del Centro de Fijación del Nitrógeno en esa misma Universidad. Esto se ha traducido en importantes canalizaciones de recursos nacionales e internacionales a estos dos centros de investigación.

Recientemente esta secretaría ha iniciado gestiones para obtener fondos de la Fundación Rockefeller para la creación de un nuevo centro de biotecnología en el país, cuyos objetivos aún no han sido dados a conocer (*El Financiero*, 1987).

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. A través de la Dirección General de Transferencia de Tecnología se dirige el Programa México, mediante el cual se solicita a las empresas transnacionales que canalicen

recursos para apoyar el desarrollo y formación de recursos tecnológicos en el país (SECOFI, 1987). Esta solicitud se le plantea a la empresa una vez firmado el contrato de transferencia de tecnología. Una de las áreas prioritarias de este programa es la biotecnología. La SECOFI actúa como intermediaria y establece la vinculación entre el centro de investigación y la empresa, siendo esta última la que decide qué áreas y a qué instituciones apoyará. La vinculación entre empresa y centro de investigación se realiza mediante los contactos personales que tienen los encargados de esta Dirección con los centros de investigación y los funcionarios de esta Secretaría fijan sus prioridades sin tomar en cuenta las que ya figuran en algunos documentos oficiales de otros organismos públicos.

Esta misma Secretaría, a través de la Dirección General de Patentes y Marcas, coordinó la discusión de la nueva Ley de Patentes aprobada en enero de este año. A pesar de las presiones que ejercieron las empresas transnacionales, quienes aún ponen como condición para invertir en el país contar con un cuerpo jurídico que les permita patentar cualquier proceso tecnológico, la ley sólo fue modificada en algunos aspectos y no dio pie a la posibilidad de patentar procesos biotecnológicos en el país, situación que defiende los intereses de la investigación nacional, pero que preocupa mucho a las empresas extranjeras, que dicen no estar suficientemente protegidas en materia de propiedad intelectual, lo que representa una limitación para sus inversiones en el país.

Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. A través de su programa de reconversión industrial ha dado énfasis al desarrollo biotecnológico, sobre todo a su aplicación en el sector azucarero (SEMIP, 1986) y en la producción de fertilizantes, áreas sobre las que ha publicado dos documentos.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Este organismo, cuya función es coordinar y estimular el desarrollo científico y tecnológico en el país, cuenta con un Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico (PRONDETYC), en el que se establecen los lineamientos de política en ciencia y tecnología para diferentes sectores económicos. Este programa no fue formulado en forma específica para las acciones del CONACYT, sino que marca las estrategias, objetivos y líneas de acción para el desarrollo científico-tecnológico nacional.

En este documento, se establecen explícitamente lineamientos para el desarrollo biotecnológico relacionado con las prioridades nacionales, entre las que figuran la agroindustria, la nutrición y la salud. Respecto a la primera de estas áreas, que es la que interesa para nuestro análisis, el PRONDETYC es bastante específico en las líneas de investigación prioritarias, entre las que señala: 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, ingeniería enzimática; apoyo a la bioingeniería; producción de proteína de origen unicelular y aprove-

chamiento de la caña de azúcar y sus subproductos (PRONDETYC, 1984).

Sin embargo, la experiencia de los últimos tres años en biotecnología no ha sido muy positiva, a pesar de que sí se han fortalecido grupos de investigación en algunas de las áreas anteriormente señaladas. Pero aún se está muy lejos de coordinar y concertar programas institucionales de investigación y menos aún 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 inclusive son conscientes los mismos funcionarios del CONACYT.

El balance de las gestiones es que los logros en materia de desarrollo tecnológico no son muy alentadores, por lo que se están dando cambios en la política interna de ese organismo, dando prioridad a los proyectos de desarrollo que se presentan a través del Programa de Riesgo Compartido, ya que los proyectos que se canalizan a través de los otros programas de desarrollo tecnológico son considerados por sus mismos funcionarios como de "fondo perdido".

Se empiezan a dar algunos pasos hacia una estrategia orientada a la creación de una infraestructura común en biotecnología, mediante la creación de redes entre diferentes instituciones para trabajar en áreas y técnicas específicas. Sin embargo, el CONACYT sigue careciendo, como desde su creación, de un poder amplio de decisión, además de que la comunidad científica cada día está más escéptica sobre sus mecanismos de apoyo.

Finalmente, la *Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos*, que supuestamente debería estar más involucrada en la política y estrategias para el desarrollo de la biotecnología agrícola y agroindustrial, hasta ahora no tiene ningún planteamiento al respecto, aunque su secretario ha firmado algunos convenios de intercambio académico en biotecnología con universidades de Estados Unidos y, actualmente, algunos funcionarios de esa dependencia intentan familiarizarse con esta área de investigación y conocer cuál es el estado de su desarrollo en el país.

Lo anterior da una idea de lo heterogéneo de las medidas de apoyo a la biotecnología. Los recursos canalizados a nivel nacional son siempre escasos y con una fuerte competencia por ellos. En el plano nacional se manifiesta una fuerte lucha por el poder en la toma de decisiones en biotecnología, que se expresa en las acciones que emprenden diferentes Secretarías de Estado. El PRONDETYC permanece en el olvido de los funcionarios públicos y, además, existen opiniones de que ya es obsoleto.

En el momento político actual se contempla difícil la generación de un Plan Nacional de Biotecnología, tal como lo han elaborado otros países de América Latina, entre ellos Brasil, Argentina, Nicaragua y Cuba. Además, la elaboración de ese plan no vendría a constituir sino un mecanismo más de política, ya que hasta ahora no existe la voluntad política para llevar a cabo sus objetivos. En conclusión, podemos afirmar que en el plano nacional existe un conjunto de mecanismos de política dispersos en diferentes entidades gubernamentales que podrían coordinarse para lograr un

desarrollo integrado y relevante, en términos sociales, de este campo de investigación.

6.2. *Cooperación internacional*

En la esfera internacional se cuenta también con diversos organismos que apoyan el desarrollo de la biotecnología en la región latinoamericana. Así, tenemos los siguientes programas en los que participa México:

a) Programa Regional de Biotecnología de la ONUDI, iniciado en abril de 1987, cuyas áreas prioritarias para la región son la agricultura y la alimentación, por lo que ha decidido financiar investigaciones en micro-propagación, ingeniería genética de plantas y producción de enzimas de uso alimenticio (●NUDI, 1986).

b) El Programa CYTED-D de la Comisión para la Conmemoración del V Centenario del Descubrimiento de América, en el que se contemplan como prioridades proyectos en cultivo de tejidos vegetales y fijación de nitrógeno, aunque los planteamientos de apoyo en esta área aún están como propuesta (CYTED-D, 1985).

c) El Programa de la Comunidad Económica Europea (CEE), que está preocupada por el atraso en biotecnología de los países de la Comunidad y por la lucha por los mercados. Tiene recursos para colaborar con América Latina pero aún no ha definido las áreas. Por lo anterior, hace unos meses organizó una reunión en Bruselas, a la que invitó a un grupo de expertos y empresarios latinoamericanos en biotecnología, con el propósito de formalizar un convenio de cooperación con esta región. Por lo que respecta a México, se ha empezado a formalizar el convenio a través de CONACYT y de la Secretaría de Relaciones Exteriores y, en breve, se definirán los campos de interés para la CEE, que ya está en contacto con un grupo de industriales mexicanos.

d) La OEA pretende conformar una estrategia regional para la formación de cuadros interdisciplinarios, la creación de redes de comunicación y la fabricación de insumos y de instrumentos básicos para la investigación biotecnológica (OEA, 1987).

e) La Organización Panamericana de la Salud tiene un programa de biotecnología en salud.

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 investigadores y se tiende a una monopolización de los recursos por un grupo pequeño de instituciones. El acceso a esa información se da casi siempre por contactos personales muy específicos, lo que limita a las instituciones que no participan de ellos.

Los contactos y mecanismos de cooperación con la esfera internacional, así como las gestiones que actualmente 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 por parte de las autoridades involucradas en el desarrollo de esta área, ya que los resultados podrían ser altamente perjudiciales al convertirse el país en financiador de mano de obra altamente especializada para las compañías transnacionales y dirigir el desarrollo de la investigación prioritariamente hacia los aspectos que interesan a esas organizaciones.

7. RELEVANCIA DE LA CAPACIDAD DE INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA PARA LA PROBLEMÁTICA AGROALIMENTARIA

De las apreciaciones elaboradas en los apartados anteriores y que resultan del análisis sobre las orientaciones de la investigación biotecnológica en las áreas agrícola y agroindustrial, podemos apuntar las siguientes tendencias.

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. En esto están interesadas empresas privadas, tanto pequeñas como grandes consorcios que perciben los atractivos mercados internacionales para estos cultivos y que pretenden acaparar los mercados 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 agrícola 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.

En cuanto a la investigación en biotecnología agroindustrial, su orientación está dada por el uso de los recursos naturales característicos de México, persistiendo como objetivo la producción de alimentos alternativos para los animales. Percibimos aquí una tendencia a la producción para el mercado interno, mediante la sustitución de importaciones y un interés de la empresa pública por emplear estas capacidades de investigación.

En el caso de la biotecnología agroindustrial cuyas aplicaciones resultan atractivas, tanto por el uso novedoso que ofrece para distintos recursos naturales, como por las reducciones de importaciones que esto implicaría, es necesario aún orientarse a superar las limitaciones de factibilidad económica de los procesos. Dados los esfuerzos que se desarrollan actualmente

para optimizar los procesos y por diversificar los productos e introducir productos de mayor valor agregado, percibimos que la tendencia hacia una mayor factibilidad económica se opondrá o entrará en contradicción con el logro de objetivos socioeconómicos de interés para el país. Es decir, que si se pretende la generación de procesos relevantes socialmente, la opción deberá contemplar a la factibilidad económica como factor secundario. El ejemplo más claro de esta opción es la producción de alcohol carburante en Brasil, que aun siendo un proceso no rentable fue industrializado ya que derivaba en objetivos de desarrollo nacional.

México, a diferencia de otros países en vías de desarrollo, cuenta con una capacidad de investigación biotecnológica importante, evaluada ésta no en términos cuantitativos sino cualitativos. El desarrollo de esta capacidad ha sido resultado de los esfuerzos emprendidos por diversas instituciones de educación superior desde los años 1940. Hasta la fecha, la investigación biotecnológica en el país se concentra en los centros de educación superior y en los institutos tecnológicos regionales. La biotecnología aún no es un área de investigación desarrollada en los laboratorios de las empresas privadas nacionales, por lo que conserva su carácter público, en contraposición al carácter privado que ha adoptado en los países desarrollados.

Sin embargo, las direcciones de esta área de investigación aún no han sido definidas explícitamente y creemos que éste es uno de los elementos de mayor preocupación para nuestro país.

A diferencia de la Revolución Verde, que orientó la investigación para una agricultura basada en tierras de buen clima y con sistemas de irrigación, la biotecnología promete extender la agricultura a 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. Es decir, que 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 los países del Tercer Mundo. Sin embargo, las tendencias en el 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 productos generados por métodos biosintéticos, que no hacen necesaria la existencia de la materia prima, o que pueden ser generados a partir de otros recursos naturales. Tal es el caso de la sustitución de azúcar de caña por isoglucosa de maíz, con un poder edulcorante mucho mayor que la primera, o la producción del aspartame, que es un edulcorante generado por métodos biosintéticos y que no requiere de ninguna materia prima. Esta situación se extenderá

dentro de poco tiempo a cultivos como el cacao o el café, causando una aguda crisis a los países que ahora los exportan, entre los cuales México ocupa un lugar destacado.

La investigación en el mundo desarrollado está controlada por los intereses comerciales de las multinacionales y un ejemplo de esto es el desarrollo de la investigación para la producción de especies resistentes a herbicidas. Estas compañías tienen fuertes intereses en la comercialización de esos insumos agrícolas, lo que determina que la investigación en ingeniería genética se oriente a producir especies resistentes a esos agroquímicos para asegurar el éxito de sus mercados, en vez de orientarla a resistencia a plagas o sequía.

Las opciones para los países subdesarrollados, y particularmente para México, deberán estar dadas por líneas diferentes de investigación, que no obedezcan a la sustitución de los productos agrícolas, sino más bien a la determinación de nuevos usos para éstos, así como al mejoramiento genético de nuestros granos básicos, dadas las inevitables reducciones que se darán en nuestras exportaciones hacia el mundo desarrollado.

Sobre lo anterior cabe mencionar que hay crecientes indicadores de que las grandes corporaciones multinacionales están dedicando esfuerzos a expandir sus productos y mercados al Tercer Mundo. Los mercados más atractivos de los países en vías de desarrollo para las compañías multinacionales son los del trigo, arroz, maíz y sorgo (Buttel, 1986). Esto es sumamente importante, ya que implica que los países desarrollados deben también estar invirtiendo en investigación sobre ingeniería genética para producir especies transformadas y poder seguir controlando el mercado mundial de semillas. Sin embargo, aún bajo esta consideración, los países en desarrollo tienen la oportunidad de orientar sus capacidades de investigación a la producción de semillas que puedan ser factibles de cultivarse en las zonas agrícolas menos favorecidas y que sean independientes de los insumos agrícolas comerciales, ya que estas áreas de investigación no serán de interés para la investigación biotecnológica privada.

En relación con esto último, la investigación biotecnológica en México aún no ha definido ni sus opciones ni las direcciones que se deben seguir. El único centro de investigación que trabaja con técnicas de ingeniería genética aplicadas a plantas ha seleccionado el frijol y los problemas para su cultivo en la zona del Bajío. No existe aún investigación en el país que considere las peculiaridades agroecológicas de los cultivos y que intente su mejoramiento por medio de técnicas biotecnológicas. Sin embargo, en el país existe una amplia experiencia de investigación agrícola convencional que debería ser considerada por el biotecnólogo en la definición de sus líneas de investigación y de los problemas a resolver. Habría que recordar que los desarrollos biotecnológicos no implican la desaparición de los fitomejoradores, ya que son estos últimos quienes realizan las pruebas de campo de las variedades modificadas por las técnicas biotecnológicas.

Si retomamos los aspectos expuestos en la introducción de este artículo,

que fueron considerados como problemas centrales de la agricultura y de la alimentación y que podrían mejorarse mediante la asistencia científico-técnica, encontramos que con la actual capacidad de investigación biotecnológica podrían afrontarse algunos de esos problemas con posibles resultados en plazos diferentes.

En relación con la competencia entre cultivos para consumo humano y para alimentación animal, la actual capacidad de investigación biotecnológica ofrece opciones alternativas, mediante la utilización de los cuantiosos recursos existentes 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.

Sin embargo, es necesario diseñar una estrategia para el uso de dichos recursos y definir sus usos prioritarios, ya que no siempre es factible emplearlos simultáneamente para diferentes fines. Un ejemplo sería el uso del bagazo de caña para producción de POU, o su utilización como fertilizante orgánico, o como fuente de energía en los mismos ingenios.

Los procesos biotecnológicos orientados al uso de estos recursos requieren de un nivel tecnológico que ha sido clasificado como intermedio (Bull *et al.*, 1982), con inversiones moderadas y operaciones medianamente complejas, lo cual, aunado a la experiencia de investigación acumulada y desde el punto de vista técnico, podría representar una opción en corto plazo.

También encontramos gran relevancia socioeconómica en las investigaciones sobre producción de fertilizantes orgánicos y biológicos, así como de insecticidas microbianos, que representan líneas prioritarias para el país, tanto por orientarse a mejorar la producción de los cultivos como a sustituir importaciones y disminuir la contaminación por el empleo de químicos.

En cuanto a la biotecnología agrícola, que como hemos explicado es la que se relaciona con el mejoramiento de plantas y cultivos, las orientaciones actuales deberían ser modificadas y centrarse en la formación de recursos para conformar equipos de investigación para el desarrollo de técnicas biotecnológicas para mejorar las gramíneas y las leguminosas. Ésta es un área de investigación de largo plazo, pero que aún cuando sea ése su carácter, no podemos quedarnos rezagados y depender de los avances que realicen las grandes empresas biotecnológicas transnacionales.

Aunado a la reorientación de la biotecnología y a la determinación de prioridades, es necesario también considerar estrategias para superar sus principales limitaciones de orden institucional, tales como el financiamiento, los escasos recursos humanos, así como las complicadas relaciones interinstitucionales y con el aparato productivo.

En síntesis, podríamos afirmar que la capacidad de investigación biotecnológica con la que cuenta el país en las áreas agrícola y agroindustrial constituye una base importante no sólo para enfrentar los impactos de esta revolución tecnológica, provenientes del exterior, sino también para producir alternativas propias de acuerdo con las necesidades nacionales. Sin embargo,

los impactos provenientes de los avances biotecnológicos del mundo desarrollado sólo podrán controlarse con acciones y estrategias en esta área emprendidas mediante colaboraciones regionales en latinoamérica, tanto de carácter científico-técnico, como de carácter industrial y comercial.

BIBLIOGRAFÍA

- Bull, A. T. *et al.*: (1982), *International trends perspectives in biotechnology: a state of the art report*, París, OCDE.
- Buttle, F. H., M. Kenney y J. Kloppenburg: (1985), "From Green Revolution to Biorevolution: Some observations on the changing technological bases of economic transformation in the Third World", en *Economic Development and Cultural Change*, vol. 34, núm. 1, octubre, pp. 31-55.
- Buttle, F. H.: (1986), "Biotechnology and the future of research and development in Latin America and the Caribbean", ponencia presentada en el CIAT, Colombia, 26 de agosto.
- Carrizales, V. y W. Jaffre: (1986), "Solid State Fermentation: an appropriate biotechnology for developing countries", en *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*, México, Universidad Autónoma de Chapingo, Programa Integración Agricultura Industria.
- Comisión para la Conmemoración del V Centenario del Descubrimiento de América: (1985), *Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. V Centenario (CYTED-D)*, Madrid.
- COSNET: (1986), *Tercera reunión de evaluación de proyectos de investigación*, Chetumal, Quintana Roo, diciembre.
- El Financiero*: (1987), "Concertará Soberón en N.Y. la creación de un Centro de Biotecnología", 4 de noviembre.
- FAST: (1980), *Science and technology policy*, FAST Sub-Programme on Biosociety, Bruselas, CEE.
- FASTS (1982), *The FAST Programme: Results and Recommendations*, vol. I, Bruselas, CEE, septiembre.
- Higgins, I. J., D. J. Bests y J. Jones (ed.): (1985), *Biotechnology. Principles and applications*, Oxford, Londres, Edimburgo, Blackwell Scientific Publications.
- Leal Lara, H.: (1985), "La utilización microbiológica de desperdicios lignocelulósicos", en R. Quintero (comp.), *Prospectiva de la Biotecnología en México*, México, Fundación Javier Barros Sierra-CONACYT, pp. 93-114.

- López Mota, F.: (1987), Director técnico de FERMEX, entrevista realizada el 17 de junio.
- National Academy of Sciences: (1982), *Priorities in biotechnology*, Washington, Board of Science and Technology for International Development, National Academy Press.
- OEA: (1987), *Opciones para un Programa Regional de Biotecnología*, febrero.
- ONUFI: (1986), *Desarrollo de la biotecnología para la propagación y el mejoramiento genético de plantas de interés económico para América Latina*, Caracas, septiembre.
- OPS: (1983), *Biotecnología: estado actual, tendencias y perspectivas futuras en Latinoamérica y área del Caribe*, Washington, diciembre.
- Poder Ejecutivo Federal: (1984), *Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico*, México, CONACYT, diciembre.
- Sasson, A.: (1984), *Las biotecnologías. Desafíos y promesas*, Sextante, núm. 2, París, UNESCO.
- Sasson, A.: (1986), *Quelles Biotechnologies pour les pays en développement?*, París, UNESCO.
- SECOFI: (1987), *Programa México*, México (documento interno).
- SEMIPIS (1986), *Programa de reconversión de la industria azucarera para-estatal. Estrategia y líneas de acción*, México, mimeo.
- Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería: (1987), *II Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*, Durango, 23-26 de junio.
- Sociedad Mexicana de Fijación Biológica de Nitrógeno: (1987), *I Congreso Nacional de Fijación Biológica de Nitrógeno*, Jalapa, 25-27 de febrero.
- TEPLA: (1986), *Reunión Latinoamericana: Biotecnología, Producción Agrícola y Recursos Naturales Renovables*, São Paulo, Universidad de Campinas, abril.
- UNIDO: (1981), *The establishment of an International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB)*. Report of a Group of Experts, octubre.