

La biotecnología y su incidencia en los problemas ambientales en México

ROSALBA CASAS

INTRODUCCIÓN

EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA y sus implicaciones y efectos en el medio ambiente es un tema de gran preocupación en países como México. Las experiencias de las tecnologías agrícolas derivadas de la revolución verde y su efecto en el deterioro de las tierras ha llevado a afirmar que los impactos de las biotecnologías en el medio ambiente serán aún peores que los producidos por las tecnologías de la revolución verde.

Estos argumentos, aunados a la incipiente regulación del medio ambiente en México, han dado lugar a que algunos estudiosos del tema sostengan que la biotecnología no representa una opción para México porque implica un conjunto de tecnologías que con toda seguridad afectarán negativamente los ecosistemas del país.

Fundamentándose en los resultados de investigaciones previamente realizadas sobre el desarrollo de la biotecnología agrícola y agroindustrial en México (Casas, 1989), este artículo tiene como objetivo contribuir a la discusión de los efectos de la biotecnología en el medio ambiente tratando de ir más allá de las generalizaciones imperantes e identificar los efectos potenciales más específicos de estas tecnologías. Para tal efecto se parte de un concepto amplio de biotecnología considerándose este campo de estudio como el procesamiento industrial de materiales a través del uso de microorganismos y de otros agentes biológicos para producir bienes y servicios (FAST, 1980). Es decir que en esta definición quedan incluidas las tres generaciones en las que se ha dividido el desarrollo de la biotecnología y no exclusivamente los avances logrados en la tercera etapa con el desarrollo de la ingeniería genética.¹

¹ La primera generación del desarrollo de la biotecnología se refiere a los procesos de fermentación para la producción de alimentos y bebidas que datan de la Antigüedad. La segunda se caracteriza por los avances en la microbiología, el uso exitoso de mutaciones y la selección de cepas para mejorar los rendimientos, el refinamiento de los sistemas de fermentación y el desarrollo de los procesos continuos. La tercera generación se define por las técnicas de inmovilización enzimática y el desarrollo de la ingeniería genética que están dando lugar a las combinaciones genéticas y su consecuente contribución a los sectores farmacéutico, agrícola y pecuario (Sharp, 1985).

El artículo se divide en las siguientes secciones: 1) en la primera se sistematizan los argumentos que se sostienen en México en torno a los efectos de la biotecnología en el medio ambiente, 2) en la segunda se revisa la legislación del medio ambiente vigente en México atendiendo a su relevancia para preservar la biodiversidad, los bancos genéticos así como la aplicación de nuevas tecnologías, 3) en la tercera se plantean las diferentes contribuciones que las biotecnologías pueden ofrecer para resolver los problemas del medio ambiente y 4) en la última sección se formulan algunos lineamientos para orientar la investigación biotecnológica en México hacia los efectos positivos para el medio ambiente.

Es importante aclarar que los argumentos incluidos en las siguientes secciones son aún preliminares ya que la investigación en torno a los efectos de la biotecnología en el medio ambiente está aún en su etapa inicial. Sin embargo, es pertinente difundir los argumentos que sobre el tema se elaboran en este artículo, dada la tendencia imperante en torno a las generalizaciones cuando se trata de analizar los efectos de la biotecnología. La biotecnología implica una vasta área de estudio con especificidades que dependen de las características de los niveles tecnológicos, de los productos y procesos generados, así como del contexto social en el cual se aplican estas tecnologías. Todo esto nos lleva a plantear que se trata de un área de investigación cuyos efectos no pueden quedar reducidos a generalizaciones.

1. ARGUMENTOS EN TORNO AL EFECTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL MEDIO AMBIENTE

A partir de la década pasada se ha venido discutiendo en México la relevancia de la biotecnología y su incidencia en los problemas nacionales. En un principio la discusión acentuó los efectos positivos de estas tecnologías y los beneficios que éstas podían representar para los países en desarrollo. Sin embargo, a fines de la década pasada se comenzó a gestar una nueva posición, contrapuesta a esta visión tan positiva de la biotecnología. Surgen así corrientes de opinión que sostienen que los procesos y los productos biotecnológicos no son convenientes para México argumentándose que sus efectos en la agricultura y el medio ambiente serán peores que los que produjeron otras tecnologías.

En el plano internacional, a mediados de la década pasada se empezaron a producir los primeros análisis que intentaban establecer una comparación entre la revolución verde y la biorevolución, que es una de las formas como se ha denominado a la biotecnología. Buttell *et al.* (1985) fueron los primeros en elaborar esta comparación. En esa fecha, los autores concluían que a pesar del perverso carácter privado de la investigación biotecnológica y de la transferencia de biotecnologías, la biorevolución tendrá un espectro más amplio de aplicaciones, y por lo tanto de efectos, que los que tuvo la revolución verde. Más recientemente otros autores sostienen que nunca ha habido una oportunidad tan grande como ahora para conducir a la agricultura hacia una producción sostenida y llegar a la cuarta parte

de la población mundial que careció de oportunidades debido a la revolución verde (Wolf, 1987). Aunque estos estudios y otros más a nivel internacional (Fawler, *et al.*, 1988) han establecido y sistematizado en forma muy acertada las grandes diferencias entre estas dos tecnologías, hasta ahora poco se ha avanzado para demostrar sus implicaciones socioeconómicas para los países en desarrollo.

En México, los argumentos que sostienen que la biotecnología no es la opción y que por el contrario representa un gran peligro para la agricultura y el medio ambiente, se apoyan en los siguientes razonamientos:

1) La biotecnología no satisfará las necesidades de la mayoría de los productores agrícolas en México (Vega y Trujillo, 1989). El efecto más probable que se preve será el aumento de la desigualdad y es posible que los conflictos entre los productores mayoritarios del campo y aquellos capaces de asimilar la nueva tecnología se agudicen (Barkin y Suárez, 1990).

2) Se agravará la vulnerabilidad de las plantas ante factores ambientales adversos y aumentará el riesgo de pérdidas totales. Las biotecnologías desarrolladas hasta ahora no contribuyen a atender la necesidad más importante de la agricultura moderna: lograr una producción sostenida (Vega y Trujillo, 1989).

3) La biotecnología está repitiendo el mismo error de la revolución verde, ya que está considerando al medio ambiente agrícola aislado de las condiciones de su ambiente físico. Las experiencias de la revolución verde demostraron los efectos negativos de trabajar con monocultivos. La biotecnología reproducirá patrones agrícolas basados en materiales genéticos más escasos y más vulnerables a los agentes externos (Trujillo, 1990).

4) La biotecnología no es agroecológica. La agroecología busca identificar técnicas apropiadas para integrar a ciertas regiones de producción agrícola y para permitir el enriquecimiento del medio ambiente (Trujillo, 1990). La agroecología es una disciplina y un modelo filosóficamente opuesto a la biotecnología, ya que ésta diseña estrategias para hacer a los productores agrícolas más dependientes de los insumos agrícolas, con la consecuente degradación del medio ambiente (Trujillo, 1990).

5) La coyuntura actual requiere de otro programa de desarrollo tecnológico diferente a la biotecnología, por lo que se debe abrir un nuevo campo tecnológico prioritario: la agroecología. El esfuerzo por emprender un programa de investigaciones en agroecología tendría que complementarse con modificaciones sustanciales de la política macroeconómica que darían un sustento mínimo a los esfuerzos de los campesinos por aumentar nuevamente la productividad de las zonas de temporal (Barkin y Suárez, 1989).

Los argumentos expuestos antes acerca de los efectos negativos de la biotecnología en el sector agrícola y el medio ambiente, se centran principalmente en la consideración de la biotecnología de tercera generación, es decir, de la ingeniería genética. Estas aseveraciones no están documentadas con evidencias específicas y

en su mayoría se basan en la extensión de los argumentos elaborados para demostrar los efectos negativos de las tecnologías derivadas de la revolución verde. Buttel y Cowan (1990) sostienen que hay una gran diferencia entre los análisis socioeconómicos de la revolución verde y los de la biotecnología agrícola. Los primeros han estado basados ampliamente en datos compilados *ex post*, mientras que los segundos se sustentan en información *ex ante* cuando las metodologías y aplicaciones de las biotecnologías están aún en gestación. Ello plantea una gran limitación cuando se analizan los efectos socioeconómicos de la biotecnología, limitación que se agudiza aún más dada la amplia gama de aplicaciones de estas tecnologías y las diferentes opciones que pueden elegirse.

Los argumentos expuestos en párrafos anteriores si bien muestran una gran preocupación por prevenir efectos tan nocivos sobre la agricultura y el medio ambiente en los países en desarrollo como los causados por otras tecnologías, también incluyen cierto grado de generalidad y de imprecisión respecto a las tendencias y problemas de la biotecnología de plantas y agroindustrial en México, por lo que es preciso plantear las siguientes observaciones.

1) Circunscribir la discusión de los efectos de la biotecnología únicamente a la ingeniería genética es una gran limitación para el caso de países como México, por lo que debe adoptarse un concepto más amplio de biotecnología. Esto se debe a que la mayor parte de la experiencia generada en la investigación biotecnológica en México radica precisamente en la biotecnología de primera y segunda generación. Además, cabe argumentar que de acuerdo con los estudios realizados sobre el tema (Casas, 1989) las características de los efectos de las biotecnologías de segunda y de tercera generación en la agricultura y el medio ambiente son bastante diferentes si se analizan procesos y productos específicos.

2) Respecto de las tendencias de la investigación en biotecnología en México no parece del todo acertado generalizar que contribuirá a una mayor polarización de la sociedad. Es cierto que las tendencias de la biotecnología de plantas en México reproducen las orientaciones de la investigación observadas en el mundo desarrollado, en el sentido de que los cultivos de interés para la investigación persiguen aplicaciones industriales y comerciales. Sin embargo, en México, la investigación en biotecnología de plantas, a diferencia de lo que se observa en los países desarrollados, no está centrada en la sustitución de cultivos de exportación por otros cultivos o por sustancias producidas por métodos biosintéticos. Cabe mencionar que el gran interés que se observa en la investigación por cultivos ornamentales, hortícolas y frutícolas se basa en gran medida en que se posee el conocimiento de las técnicas aptas para el mejoramiento de estos cultivos, técnicas que no implican mucha complejidad. El mejoramiento de los cultivos básicos y su adaptabilidad a condiciones ambientales difíciles, implica mayor complejidad en la investigación y requiere de las técnicas de ingeniería genética y de la manipulación de varios genes a la vez para lograr las características deseadas.

En cuanto a las tendencias generales de la biotecnología agroindustrial en México, se puede afirmar que están basadas en el uso de un gran número de recursos naturales disponibles en forma de desechos agrícolas y subproductos agroindustriales. Es notable el interés que existe en la producción de opciones para la alimentación animal, tanto en forma de concentrados protéicos como en forma de proteínas de origen unicelular (POU), tendencia que no es prioritaria en los países desarrollados o para las empresas transnacionales. La adaptación de tecnologías, así como el uso de recursos naturales dan a la biotecnología agroindustrial en México un carácter propio y la sitúan en la biotecnología de segunda generación. La biotecnología agroindustrial implica nuevas opciones de alimentación para México, a través de la reconsideración del uso de desechos y subproductos así como nuevas opciones para resolver los problemas de contaminación ambiental causados por esos residuos.

3) La agroecología no es una disciplina sino un enfoque para el desarrollo agrícola. Con la adopción de un enfoque agroecológico, puede considerarse un conjunto de tecnologías de diferente grado de complejidad, incluyendo los avances biotecnológicos. Esto significa que tanto las tecnologías tradicionales como las convencionales, así como las biotecnologías, pueden contribuir a sostener un patrón de desarrollo agrícola basado en un enfoque ecológico. Confrontar a la biotecnología con la agroecología parece ser un falso debate, aparentemente basado en una interpretación limitada de la biotecnología que la considera exclusivamente como un sinónimo de ingeniería genética.

Al revisar los enfoques que se han empleado para resolver los problemas ambientales, Leff (1984) afirma que la solución tecnológica a estos problemas se ha centrado y basado en la adopción de una racionalidad de economía de mercado. Los efectos de esta racionalidad han desestabilizado a los ecosistemas y han producido la erosión de las tierras. Se requiere de una nueva estrategia que reoriente las opciones tecnológicas hacia una racionalidad productiva diferente a las actuales prácticas contaminantes de desperdicio y destructoras (Leff, 1984). Es decir, una nueva racionalidad con un enfoque de productividad ecotecnológica que, desde el punto de vista de Leff, depende de tres elementos: a) acciones sociales, b) cambios institucionales y c) innovaciones tecnológicas. En este sentido los intentos por definir un nuevo campo de investigación, en este caso la agroecología, no resolverán el problema mientras no se adopte una racionalidad diferente en la producción y en la que se puedan sustentar tecnologías de diferente grado de complejidad que contribuyan a un enfoque ecotecnológico de desarrollo. Además, cabe agregar que la tecnología constituye solamente uno de los elementos de esa nueva racionalidad y que por sí sola no podría asegurar una estrategia de productividad ecotecnológica.

4) En los argumentos expuestos por Barkin y Suárez (1990) así como por Trujillo (1989, 1990), se percibe cierta tendencia al determinismo tecnológico en la explicación de las características del agro mexicano. Esta posición se lleva al extremo al plantear que la biotecnología agudizará la polarización de la sociedad,

olvidándose en el análisis el tratamiento de los factores institucionales y sociales. Cuando Barkin y Suárez se plantean la alternativa agroecológica establecen que para que ésta tenga éxito es necesario un cambio en la política macroeconómica, es decir que en este caso se reconoce que si no están acompañadas de cambios macroeconómicos, las tecnologías agroecológicas por sí solas no resolverán los problemas de los productores en las zonas de temporal, ni mejorarán sus condiciones de vida. Este sería el mismo planteamiento que acompañaría a una estrategia biotecnológica relevante para la solución de la coyuntura actual.

5) Al discutir las relaciones entre la biotecnología y el medio ambiente es posible prever gran cantidad de aplicaciones, la mayor parte de ellas importantes para contribuir a resolver los problemas ambientales en México. Por medio de la biotecnología se han desarrollado procesos para disminuir o limitar los contaminantes químicos, los residuos sólidos, los detergentes, los insecticidas y los subproductos del petróleo (Casas-Campillo, 1989). Hoy los procesos biotecnológicos se emplean mundialmente para el tratamiento de aguas y efluentes así como para el reciclaje de residuos y subproductos. La biotecnología tiene un gran potencial para mejorar los problemas ambientales causados por desastres, por la introducción de otras tecnologías, así como por las consecuencias del desarrollo industrial. Sin embargo, con los procesos biotecnológicos también pueden prevenirse problemas de contaminación y no centrarse exclusivamente en su solución. Esta parece ser una alternativa interesante para países en desarrollo como México, que cuentan con una infraestructura tecnológica relevante basada en biotecnología de segunda generación. Mediante el uso de esta alternativa para reducir la contaminación causada por los residuos orgánicos, pueden también lograrse nuevas opciones para alimentación animal y generación de energía. Tal como lo señala Marstrand (1983), ésta no es una nueva oportunidad industrial, sino un nuevo enfoque para una vieja oportunidad. Existe ahora la posibilidad de que mediante el uso de cepas de organismos manipuladas genéticamente se puedan superar algunos de los problemas de tolerancia que han limitado a los procesos de tratamiento biológico.

Este tipo de tratamiento de residuos ha sido largamente usado y requiere refinarse para poder usarlo más ampliamente. En México este es un campo de aplicación relevante que puede combinar las capacidades de investigación ya acumuladas y las políticas gubernamentales para la protección ambiental, pero que requiere ser estimulado con una nueva racionalidad de desarrollo.

6) México cuenta con una importante experiencia en esos campos y con una capacidad de investigación que podría ser explotada, tal como se hace actualmente en países como la India y China (Casas, 1989; Casas-Campillo, 1989). Estas oportunidades hacen necesario adoptar un concepto amplio de biotecnología y aceptar que esta área se concentra en un grupo de disciplinas y que ofrece grandes posibilidades de generar productos y procesos basados en transformaciones micro-

bianas. Tales condiciones nos llevan a plantear que México podría adoptar una racionalidad diferente para el desarrollo de la biotecnología que aquella adoptada por los países desarrollados, y encontrar así posibilidades de desarrollo tecnológico que podrían ser importantes para sus problemas agrícolas y ambientales.

2. LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO

Al analizar los efectos de la biotecnología en el medio ambiente, resulta importante considerar las características y limitaciones de la actual legislación sobre el medio ambiente y las medidas que podrían aplicarse para el caso de la biotecnología. La legislación del medio ambiente en México ha sufrido numerosas modificaciones desde 1982, debido a la acentuación de los problemas de contaminación en México y a las presiones ejercidas por diferentes grupos sociales para legislar e introducir medidas de política que disminuyan los índices de contaminación.

Desde 1982 se han adoptado las siguientes medidas: a) la Ley Federal para la Protección del Medio Ambiente aprobada en 1982 y modificada en 1984; b) la creación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE); c) la adopción del Programa Nacional de Ecología para el período 1984-1988; d) la creación de la Comisión Nacional de Ecología; e) las modificaciones a la Constitución Política de México; f) el impulso de una política de descentralización para proteger al medio ambiente y la promoción para integrar a la federación, los estados federales y los municipios en torno a la aplicación de la legislación y al Programa Nacional de Ecología; g) La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental, publicada en 1988, que sustituye a las leyes anteriores en la materia y h) el Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994 (SEDUE, 1990) que establece las líneas generales de política en esta materia.

Además de la legislación, se han adoptado diversas medidas con el propósito de proteger la biodiversidad y el medio ambiente. La SEDUE creó el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, que actualmente suman 65 en todo el país. Ha promovido también unidades de producción y restauración ecológica, una red nacional de calidad y tratamiento de agua, una red para la calidad de aire y algunos sistemas para la reutilización y tratamiento de residuos orgánicos (SEDUE, 1990).

Al analizar la actual legislación sobre el medio ambiente, resaltan tres grupos de medidas legislativas con implicaciones para el desarrollo biotecnológico y sus aplicaciones. Para propósitos de este trabajo se elabora la siguiente clasificación: 1) preservación de recursos naturales y protección de los ecosistemas; 2) control de la contaminación de residuos y subproductos y 3) protección del ambiente de la introducción de nuevas tecnologías.

1) Preservación de los recursos naturales y de los ecosistemas

Si se compara la legislación anterior con la Ley de 1988, se observan algunos avances relativos a la preservación y el uso de los recursos naturales. La actual legislación prevé que deben establecerse áreas naturales protegidas, que persiguen los siguientes objetivos: a) preservar los ambientes naturales de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas, tratando de garantizar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos; b) salvaguardar la diversidad genética de las especies salvajes o nativas de las que depende la continuidad evolutiva, con especial atención en las especies endémicas o en peligro de extinción; c) asegurar el uso racional de los ecosistemas y d) generar conocimientos y tecnologías que permitan el uso racional y la preservación de los recursos naturales (SG, 1988).

Por lo que toca a las especies silvestres, la actual legislación establece la necesidad de proteger los procesos evolutivos de las especies y sus recursos genéticos, asignando áreas representativas del sistema ecológico del país para la protección y la investigación (SG, 1988).

Con el objeto de proteger los recursos genéticos, en la nueva Ley se señalan diferentes medidas como el establecimiento de concesiones, licencias y autorizaciones para usar, administrar, conservar, propagar y desarrollar las especies no cultivadas; el establecimiento de reservas naturales y la regulación y restricción de la exportación parcial o total de especies nativas (SG, 1988).

Aun cuando la Ley es explícita en cuanto al control de la biodiversidad y de los recursos genéticos, no es suficientemente explícita y clara en el establecimiento de las medidas que deben adoptarse para lograr estos objetivos. La aplicación de esta Ley implica la integración de las acciones que llevan a cabo las diferentes dependencias federales y la consideración de otras legislaciones en lo referente a áreas específicas de los intereses gubernamentales. Por ello, la coordinación de la legislación del medio ambiente entre las entidades gubernamentales es una medida prioritaria para permitir la consecución de los objetivos generales de la Ley.

2) Control de la contaminación de residuos y subproductos

Atendiendo al uso racional del agua y del suelo y a la protección del medio ambiente, se han propuesto diversas medidas en la legislación que requerirían la aplicación de tecnologías, algunas de las cuales podrían derivarse de la biotecnología. El tratamiento de aguas residuales y su reutilización, la introducción de cultivos compatibles con la preservación del equilibrio ecológico y el tratamiento y reutilización de residuos urbanos sólidos e industriales son algunas de las medidas relacionadas con la protección del medio ambiente (SG, 1988).

Todas estas son áreas de investigación en las que México ha participado desde hace varios años. La degradación de los compuestos orgánicos naturales, de los polímeros

y de los compuestos orgánicos sintéticos (insecticidas, herbicidas, detergentes, efluentes urbanos e industriales) y la purificación de efluentes, son áreas en las que los procesos biotecnológicos pueden contribuir a lograr algunos de los objetivos de la Ley.

3) Protección del medio ambiente de la introducción de tecnologías

En relación con los efectos de las tecnologías en el medio ambiente, la actual legislación se refiere exclusivamente al uso de plaguicidas, fertilizantes y otras sustancias tóxicas que "no sean compatibles con el equilibrio del ecosistema" (SG, 1988). Sin embargo, por lo que toca a la introducción de nuevos materiales vegetales modificados genéticamente, la Ley no establece ninguna limitación y no hace siquiera referencia a esta situación. Este es un tema de gran preocupación para México, dada la libertad que prevalece para la introducción o la experimentación con cualquier planta modificada, que con el tiempo podría tener efectos nocivos sobre los ecosistemas.

4) Pertinencia de la legislación ambiental para el desarrollo biotecnológico

Con respecto a la actual legislación ambiental y sus implicaciones para las aplicaciones biotecnológicas y la preservación genética, es pertinente plantear algunas consideraciones generales. La legislación sobre el medio ambiente en México es amplia, pero aún muy general y no contiene medidas específicas que puedan adoptarse para asegurar sus contenidos. En lo referente a la protección y la preservación de los recursos genéticos, muy poco se sugiere para lograr este objetivo y el establecimiento de un banco nacional de germoplasma ni siquiera se menciona en la legislación revisada.

La actual legislación del medio ambiente tiene serias limitaciones. Una de ellas se relaciona con el carácter general de la Ley, otras con la falta de un cuerpo integrado de legislación ambiental. Además de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental, existe un conjunto de regulaciones que definen medidas ambientales específicas para sectores socioeconómicos específicos que no están integradas en la Ley General. Este es el caso de la Ley Forestal (1986), la Ley de Salud Fitogánadera y otros acuerdos internacionales relacionados con la protección de la flora nativa.

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal establece que la SEDUE es la responsable del uso racional y de la conservación de la flora nativa; de la organización y administración de las reservas naturales y de los jardines botánicos; de llevar a cabo las exploraciones y los inventarios científicos de la flora, y de promover y distribuir colecciones de los elementos de la flora. Sin embargo, la Ley establece que la SARH es la responsable de levantar el inventario del medio

ambiente vegetal y de mantenerlo al día (Brañes, 1987). De hecho, el INIFAP, dependiente de la SARH, es el responsable de cuidar de la preservación de los materiales genéticos vegetales. A la fecha, el INIFAP cuenta con uno de los bancos más grandes de germoplasma en el mundo, el cual incluye numerosas variedades de maíz, frijol, calabaza y chile, todos ellos cultivos originados en México (Olmos Soria, 1990). Sin embargo, es necesario otorgar mayor poder al INIFAP para que pueda ejercer un control real de los recursos genéticos vegetales en México.

Además de la dispersión de las regulaciones y de las medidas legislativas en materia de protección ambiental, la falta de una observancia efectiva de estas leyes es uno de los factores que atentan contra nuestros recursos naturales y que contribuyen a acentuar los problemas de contaminación. Aun cuando no está permitido sacar materiales genéticos vegetales del país, estos continúan emigrando ilegalmente, como es el caso de las plantas ornamentales y los cactus o las variedades silvestres de semillas, que salen al extranjero y posteriormente son vendidas a México una vez modificadas.

Cabría insistir en la necesidad de legislar en torno a la experimentación en el país con organismos vegetales o animales genéticamente modificados. La situación actual es que México está permitiendo la experimentación y el uso de organismos genéticamente modificados en otros países y en los que no lograron la aprobación para su uso. Tal es el caso del jitomate transgénico y de la hormona para bovinos para mayor producción de leche que no fueron autorizados para su utilización en Estados Unidos. A principios de la actual administración, la SARH promovió la formación de un Comité Nacional de Bioseguridad, cuyos trabajos tuvieron una corta duración. Este es uno de los aspectos sobre el que es urgente legislar para impedir precisamente la transferencia incontrolada de procesos y productos de la biotecnología.

El análisis que presentamos en este apartado indica que en la legislación vigente sobre el medio ambiente existen algunos elementos legales aplicables a la utilización de las biotecnologías. Sin embargo, como hemos visto, se encuentran dispersos en varias disposiciones, además de que su carácter es aún muy general. A esto habría que agregar que además del carácter incipiente y general de la legislación sobre el medio ambiente en México, existe una grave falta de observancia en este sentido tanto por los nacionales como de extranjeros.

3. LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN MÉXICO Y SU RELEVANCIA PARA LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

Retomando los argumentos planteados en la primera sección de este trabajo en relación con el carácter ecológico de la biotecnología, en esta sección se hace referencia específica a los avances de la biotecnología en México relevantes para los problemas ambientales.

Uno de los principales orígenes de la investigación biotecnológica moderna en México data de principios de la década de 1940 en la Escuela Nacional de Ciencias

Biológicas del IPN, en donde se dedicaron esfuerzos de investigación para el uso de residuos industriales. La investigación sobre microorganismos y sus usos en diferentes sustratos para la producción de proteínas de origen unicelular (POU) empezó en la década de 1960 y se concentró en el uso de residuos del petróleo como fuente de carbono y energía para la biosíntesis de proteínas.

Más tarde y en un marco más institucionalizado, el desarrollo de la biotecnología que se inició en la ENCB-IPN continuó desarrollándose en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (DBB) del CINVESTAV. El DBB fue creado en 1972 y desde entonces se orientó a aspectos relacionados con la alimentación y el medio ambiente. Posteriormente se crearon otras instituciones en la ciudad de México y en diversas regiones del país, y se han dedicado importantes esfuerzos a la investigación sobre residuos y subproductos tratando de resolver problemas de contaminación y contribuyendo también con procesos y productos que podrían ser relevantes para diferentes sectores económicos.

En promedio, a fines de 1987, en México existían 57 proyectos de investigación que empleaban residuos agrícolas y subproductos agroindustriales como sustrato (Casas, 1989), mientras que en 1984, eran 78 proyectos de investigación orientados hacia problemas ambientales, entre los que cabe mencionar el tratamiento de efluentes de uso doméstico o municipal, la biodegradación de contaminantes orgánicos naturales y sintéticos y la producción de combustibles a partir de diferentes residuos (COSNET, 1984). Es importante señalar que los centros de investigación que trabajan en problemas ambientales están dispersos por todo el país y la mayoría de ellos están dedicados a la investigación sobre sustratos característicos de regiones específicas.

Los residuos y subproductos agrícolas representan actualmente un problema para las zonas rurales y urbanas del país tanto económica como ecológicamente, ya que se han convertido en contaminantes de tierras y aguas, y representan un alto costo de eliminación. Es importante subrayar que algunos de los proyectos de investigación que se desarrollan en torno a la valoración, reciclaje y eliminación de tales residuos se han originado en demandas de las industrias a los centros de investigación. Tales demandas se han debido a las presiones que la SEDUE ejerce sobre las empresas para disminuir el deterioro ecológico. Entre algunos ejemplos pueden incluirse los proyectos financiados por MICONSA, LICONSA y AZUCAR, S.A., que están interesados en encontrar nuevos usos para las aguas residuales y los subproductos agrícolas y así disminuir la contaminación de los ríos y los campos agrícolas (Casas, 1989).

Sin embargo, al analizar la investigación en biotecnología de plantas y agroindustrial, pueden observarse diferentes tendencias en relación con los problemas ambientales. La biotecnología de plantas en México se concentra en el trabajo de micropropagación, y son muy pocos los esfuerzos que se destinan a la manipulación genética de cultivos. Además de estas orientaciones, entre biotecnólogos no existe gran interés por investigar acerca de los efectos potenciales en la agricultura de la

introducción de especies modificadas genéticamente, ni tampoco en el tipo de cultivos relevantes para mantener la biodiversidad y las prácticas agrícolas convencionales.

Por otro lado, cuando se analiza la biotecnología agroindustrial, los científicos parecen estar preocupados por problemas de contaminación y tratan de contribuir a su solución investigando con gran variedad de residuos y desarrollando procesos y productos que puedan ser relevantes para diversos sectores económicos. Los investigadores en biotecnología agroindustrial participan de manera importante en cuestiones ambientales, y aun cuando el producto o proceso final potencial esté relacionado con los sectores agrícola y alimentario, uno de los objetivos centrales es el de contribuir a resolver problemas de contaminación tanto en zonas rurales como urbanas.

4. COMENTARIOS FINALES

Este artículo se ha centrado en la situación prevaleciente en México relacionada tanto con la legislación ambiental como con las capacidades biotecnológicas. Los efectos de la biotecnología en el medio ambiente, que podrían estar determinados por la introducción de las biotecnologías producidas en los países desarrollados, requieren de un análisis más detallado. Por lo que concierne a los efectos ambientales, la experimentación en México de biotecnologías desarrolladas en otros países, o la venta a México de productos biotecnológicos que no han sido aceptados en los países desarrollados, representan los riesgos más grandes.

Dadas las actuales limitaciones de la legislación ambiental en México así como las presiones que están siendo ejercidas en el gobierno mexicano para la adopción de nuevas medidas legislativas en torno a los Derechos de la Propiedad Intelectual para que garanticen el control de la biodiversidad por parte de los líderes del desarrollo biotecnológico, los riesgos están aumentando con respecto a los efectos negativos que estos elementos pueden producir en el medio ambiente y sobre las posibilidades para el desarrollo biotecnológico en México.

De lo anterior se deriva que la discusión de los efectos de la biotecnología sobre el medio ambiente debe considerar dos aspectos: a) las orientaciones nacionales de la investigación biotecnológica y su relevancia para los problemas ambientales y b) las implicaciones ecológicas de los avances biotecnológicos y la transferencia de tecnología de los países desarrollados.

En México existen algunas condiciones para orientar la investigación biotecnológica hacia la solución de problemas de contaminación, tal como se ha establecido con anterioridad en este trabajo. Pero al mismo tiempo, existen condiciones que amenazan con contribuir a la pérdida del control nacional sobre la biodiversidad así como ocasionar efectos negativos originados por la puesta a prueba de biotecnologías transferidas a México provenientes de los países desarrollados. Dadas

estas condiciones, se puede argumentar que las relaciones entre la biotecnología y el medio ambiente pueden agruparse en dos conjuntos. El primero de ellos se refiere a las aportaciones de la biotecnología para la solución de problemas ambientales y el segundo se relaciona con los efectos en el medio ambiente de las manipulaciones genéticas de plantas y animales, actividad que no parece estar basada en una racionalidad ecológica.

De los elementos que se han revisado en este trabajo se derivan algunas sugerencias para avanzar en la regulación de los efectos de la biotecnología en el medio ambiente.

1) Integrar las regulaciones nacionales sobre el medio ambiente en una Ley General de Protección del Medio Ambiente y establecer un Código del Medio Ambiente en el que se incluyan mecanismos para la preservación de la biodiversidad y en el que se especifiquen las medidas y acciones en las que se traduciría dicha Ley General.

2) Integrar a la Ley General y al Código sobre el Medio Ambiente, regulaciones específicas para las biotecnologías y sus relaciones con la conservación y preservación de los recursos naturales, la prevención y el control de la contaminación ambiental así como regulaciones para la introducción de organismos genéticamente modificados y de procesos y productos biotecnológicos.

3) Revisar los acuerdos actuales de cooperación biotecnológica con los países desarrollados y prever sus efectos en el medio ambiente. Estos acuerdos deberán sustentarse en una estrategia biotecnológica orientada al fortalecimiento de la producción vegetal en México y al uso de los recursos naturales locales y no a su sustitución por métodos biotecnológicos.

4) Integrar un programa de investigación interinstitucional con el propósito de avanzar en el análisis *ex ante* de los efectos que pueden esperarse en México al introducir biotecnologías generadas en los países desarrollados. Este análisis debe considerar la definición de una racionalidad ecológica para el futuro desarrollo de la biotecnología en México así como la incorporación de otras tecnologías que puedan contribuir a este fin.

5) Extender el análisis de los efectos de la biotecnología en el medio ambiente a las regiones rurales y urbanas de México, considerando la biodiversidad, los patrones tradicionales de consumo de la población, las demandas para un desarrollo agrícola basado en la agricultura campesina, las prácticas tradicionales de cultivo como los cultivos diversificados, el uso integral de los recursos y la aplicación de tecnologías apropiadas a condiciones eco-regionales específicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Branes, R. (1987), *Derecho Ambiental Mexicano*, Fundación Universo XXI, México.
- Buttel, F.H., Kenney, M. y Kloppenburg, J.J., "From Green Revolution to Biorevolution: Some observations on the changing technological bases of economic transformation in the Third World", *Economic Development and Cultural Change*, vol. 34, núm. 1, pp. 31-55.
- Buttel, F.H. y Cowan, J.T., "La Biotecnología en el Contexto Internacional", en Suárez, B. (ed.) *¿Biotecnología para el progreso de México?*, Centro de Ecodesarrollo (CECODES) - CONACYT, México, pp. 11-46.
- Casas, R., *Biotechnology research in Mexico. Relevance for the Agricultural and Food Sectors*, Tesis Doctoral, Science Policy Research Unit, University of Sussex, Inglaterra.
- Casas-Campillo, C. (1989), *Biotecnología y Medio Ambiente*, Ciclo Anual de Conferencias, El Colegio Nacional, México.
- Cosnet (1984), *Catálogo: la investigación en Biotecnología y Bioingeniería*, Consejo del Sistema Nacional de la Educación Superior, SEP, México.
- Fawler, C., Lachkovics, E., Mooney, P. y Shand, H. (1988), *The Laws of Life. Another Development and the New Biotechnologies*. Véase: "Bio-farms: The End of the End. Third World Farmers and the New Plant Genetics", *Development Dialogue*, núms. 1-2, Uppsala, pp. 60-71.
- Leff, E. (1984), "Racionalidad ecotecnológica y manejo integrado de los recursos: hacia una sociedad neguentrópica", Ponencia presentada en el *Simposio Internacional sobre Articulación de las Ciencias para la Gestión Ambiental*, UNAM, México.
- Leff, E. (ed.) (1990), *Medio Ambiente y Desarrollo*, vol. 1, Ed. Porrúa y CIIH -UNAM, México.
- SG (1982), *Ley Federal de Protección Ambiental*, Secretaría de Gobernación, México.
- SG (1986), *Ley Forestal*, Secretaría de Gobernación, México.
- SG (1988), *Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Secretaría de Gobernación, México.
- Marstrand, P. (1983), "Opportunities for Application of New Biotechnology to Waste Reclamation and Environmental Protection", (inédito).
- Olmos Soria (1990), "Investigadores: frenan el saqueo del patrimonio genético mexicano", *El Día*, Sección Ciencia, México, junio 2.
- SEDUE (1990), *Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994*, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México
- Suárez, B. (ed.) (1990), *¿Biotecnología para el Progreso de México?*, Centro de Ecodesarrollo- CONACYT, México.
- Trujillo, J (1990), "Biotecnología y Agroecología: Selección de un Paradigma Tecnológico para el Desarrollo Campesino en México", en Suárez, B. (ed.), *op. cit.*, pp. 173-186.

- Vega, F.E. y Trujillo Arriaga, J. (1989), "Biotecnología Agrícola, espejo de la revolución verde", *Comercio Exterior*, vol. 39, núm. 11, pp. 947-952
- Wolf, E.C. (1987), "Beyond the Green Revolution: New Approaches for Third World Agriculture", Worldwatch Institute, Washington, D.C.