



VOL: AÑO 6, NUMERO 16

FECHA: MAYO-AGOSTO 1991

TEMA: BIOTECNOLOGÍA: Transformación productiva y repercusiones sociales

TÍTULO: **Biotecnología y biodiversidad**

AUTOR: *Luther Val Giddings* [*]

TRADUCTOR: María García Castro

SECCION: Notas y traducciones

TEXTO

I. Introducción

1. Biotecnología y biodiversidad: Son términos que han sido usados ampliamente con múltiples significados en distintos contextos. La oficina de asesoría tecnológica del congreso de los Estados Unidos (1984; 1986b) ha definido la biotecnología como cualquier técnica que usa organismos vivos (o partes de organismos) para hacer o modificar productos, para mejorar plantas o animales o para desarrollar microorganismos de uso específico. El grupo de trabajo UNIDO/WHO/UNEP sobre seguridad en biotecnología definió biotecnología como la aplicación de sistemas y organismos biológicos en procedimientos y usos científicos, industriales, agrícolas, médicos y ambientales. El término "organismos" incluye plantas, animales y microorganismos que se presentan naturalmente o que han sido modificados genéticamente.

2. Una subdivisión más distingue la biotecnología "nueva" o "moderna" de la "clásica" o "vieja". La "nueva" biotecnología se refiere al uso de técnicas de ADN recombinante, fusión celular, cultivo de células y tejidos y métodos novedosos de bioprocesamiento. Biotecnología "clásica" significa el uso de microorganismos para la cervecería, panificación u otros procesos de fermentación, o para las cruces selectivas tanto en la agricultura como en la ganadería.

La biotecnología entonces, abarca un espectro de tecnologías que van desde las tecnologías largamente establecidas y ampliamente usadas, basadas en el uso comercial de microorganismos y otros organismos vivos, hasta la investigación más estratégica sobre la ingeniería genética de plantas, animales y microorganismos.

3. La biodiversidad comprende todas las especies vegetales, animales y microbianas y los ecosistemas de los cuales son parte. La naturaleza y escala de los desafíos a la biodiversidad son temibles. La mayor parte de la diversidad biológica de la tierra, quizás hasta dos tercios de ésta, reside en las selvas tropicales (Wilson, 1988). Virtualmente todas estas selvas tropicales que se encuentran en naciones en desarrollo experimentan un rápido crecimiento poblacional. Este crecimiento y el desarrollo que conlleva amenazan con extinguir hasta el 70% de todas las especies vivas para el final del siglo próximo.

4. Cerca de 1.4 millones de especies han sido descritas en la literatura científica (Wilson, 1988). Más de la mitad de éstos son insectos, un cuarto de millón son plantas y cuarenta y un mil son vertebrados. Excepto por los vertebrados y las plantas que florecen, la

mayoría de los grupos de organismos son conocidos pobre o incompletamente. Las estimaciones del número total de especies que actualmente existen van de 5 a 80 millones (Consejo de Ciencias Nacionales, 1989). Cada una de estas especies contiene entre 1000 (bacterias) y 400 000 (algunas plantas que florecen, algunos anfibios) genes. Los animales mejor estudiados (ratones y humanos), se estima que contienen aproximadamente cien mil genes. Cada uno de estos genes puede existir en una o muchas formas variantes o alelos.

5. La fuente de biodiversidad al nivel informacional es el vasto espectro de organismos y la variabilidad de los organismos dentro de la misma especie. El valor potencial de esta información, como fuente de productos farmacéuticos o reactivos y materiales industriales (independientemente de cualquier consideración ética o moral) es alto. Pero si muchas de estas especies se perdieran, las consecuencias más inmediatas para la humanidad vendrían probablemente de las destrucciones de los procesos de los ecosistemas y del equilibrio químico y físico del planeta que es sostenido por la diversidad biológica. Otros efectos a largo plazo vendrían de la pérdida permanente de información y productos que serían de gran valor (Ehrlich, 1988). Es claro que tal amenaza requiere una respuesta dramática.

6. Desafortunadamente, la biotecnología no ofrece una solución rápida para disminuir la amenaza que pende sobre la biodiversidad. En vista de que la amenaza viene principalmente del crecimiento poblacional urbano, y dada la amplia aplicabilidad de las herramientas de la biotecnología, hay numerosas formas indirectas en las cuales las técnicas de la biotecnología podrían contribuir a solucionar algunos de los problemas asociados. Las contribuciones principales probablemente vendrían de su aplicación en la producción de alimentos y en la medicina (especialmente en la contracepción).

7. Las contribuciones potenciales de la biotecnología a la producción incrementada de alimentos son sustanciales. La razón principal de la destrucción de los bosques tropicales es la deforestación de la tierra debida a la agricultura. Al mismo tiempo las pérdidas anuales de cultivos (pre y post cosecha) debidas a enfermedades, plagas, sequías, son sustanciales (Persley, 1990, U.S.D.A., 1988). Estas pérdidas son mayores en los países tropicales. Es claro que si se redujeran o la producción de las tierras existentes se incrementara las presiones hacia la deforestación podrían ser reducidas.

II. Contribuciones potenciales de la biotecnología a la conservación utilización rentable de la diversidad biológica

Tecnologías para conservar la biodiversidad

8. Numerosas tecnologías tanto tradicionales como avanzadas pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad. Estas pueden ser separadas en dos categorías amplias: las aplicables a las medidas de conservación en el hábitat nativo o in situ y las aplicables fuera de su lugar o ex situ. El método preferible y más confiable para conservar un tipo específico de biodiversidad es proteger las áreas del hábitat natural que no han sido perturbadas, y no hay un sustituto satisfactorio para esto. El pragmatismo dicta, sin embargo, que se apliquen otras medidas donde la conservación in situ es un objetivo no realista o cuando es demasiado tarde (OTA, 1987).

i) Medidas de conservación ex situ:

9. Jardines botánicos y bancos de semillas: Existen varios enfoques para la conservación ex situ de la biodiversidad de plantas y animales. Para las plantas los dos principales restablecedores ex situ de la biodiversidad son los jardines botánicos y los bancos de

semillas. Hay aproximadamente 1300 jardines botánicos en el mundo (McNeely et al., 1990). Estos están particularmente bien adaptados para el estudio de plantas grandes o de larga vida provenientes del campo y para la preservación de muestras de algunas especies amenazadas y en peligro. Los jardines botánicos están bien acondicionados para la colección y preservación de variedades locales de plantas, el mantenimiento de la información tanto sobre la distribución y densidad naturales, como sobre ciertas cualidades de las plantas, tales como sus interrelaciones o asociaciones simbióticas, sus respuestas a las enfermedades características de crecimiento, fisiología y estrategias reproductivas. Los jardines botánicos también tienen un papel valioso en la educación y entrenamiento del personal técnico, y en la vigilancia de las áreas naturales y de las reservas. Desafortunadamente la mayoría de los jardines botánicos están en las latitudes templadas del norte, dejando la mayoría de los ecosistemas en peligro en los bosques tropicales húmedos, con el mínimo acceso a estos servicios vitales. El incremento del número de jardines en las áreas tropicales y la ampliación de la cobertura de los ahora existentes debería ser una prioridad en la conservación de la biodiversidad vegetal.

10. Los Bancos de semillas también juegan un importante papel, con ventajas significativas sobre otros métodos, tales como la facilidad de almacenamiento y los bajos requerimientos de espacio y mano de obra. Así, al disfrutar de considerables economías de escala, los bancos de semillas pueden preservar grandes muestras de fuentes diversas. Las desventajas incluyen el hecho de que algunas especies de plantas son propagadas mejor, y a veces exclusivamente por medios vegetativos, incluyendo algunas especies que son muy importantes para la agricultura (como la yuca y la papa) junto con sus parientes silvestres. Las velocidades de germinación también varían ampliamente y se requiere que las muestras sean analizadas con regularidad para asegurar la viabilidad. No obstante, la mayoría de los bancos de semillas no contienen información adecuada sobre la proveniencia y las características de germinación y crecimiento más que para una pequeña fracción de las muestras que contienen (McNeely et. al, 1990, OTA, 1987). También la colección de semillas hasta la fecha se ha abocado, principalmente, hacia plantas de cultivo y sus parientes de alta importancia mundial (por ejemplo, maíz, trigo), dejando de lado muchas especies vegetales que pueden, no obstante, ser de gran valor para poblaciones locales. Para que los bancos de semillas puedan desarrollar plenamente su papel, queda mucho por hacer.

11. Propagación cautiva y reservas de vida silvestre: Las especies animales se adecuan generalmente menos a los métodos de conservación ex situ, ya que su mantenimiento es más difícil y requiere de mucho trabajo. La propagación cautiva en zoológicos y en reservas de vida silvestre puede, no obstante, hacer contribuciones importantes. Puede ser esencial para salvar algunos ejemplares de la megafauna carismática del este de África que son importantes símbolos internacionales de la amenaza que pende sobre la biodiversidad y de los proyectos para preservarla. La propagación cautiva puede también ayudar a preservar cuando menos alguna fracción de la diversidad genética encontrada en parientes salvajes (como el gaur y banteng) de especies domésticas importantes (por ejemplo, el ganado). Esta diversidad puede contener genes valiosos para la resistencia a plagas o enfermedades, u otras características que mejoren sus capacidades, que podrían ser más accesibles mediante técnicas de biotecnología moderna, tales como la transformación genética.

12. Nuevas biotecnologías. Las técnicas de biotecnología moderna pueden contribuir a las medidas ex situ para conservar tanto plantas como animales. Con las plantas, el cultivo de tejidos, (crecimiento de plantas adultas a partir de células individuales derivadas de otras plantas adultas) puede capacitar a los especialistas para resolver algunas dificultades causadas por bajos ritmos de germinación o reproducción sexual; o por semillas que no pueden sobrevivir con las técnicas comunes de almacenamiento.

13. La Fusión de protoplastos puede permitir a los investigadores trasladar información genética de especies en peligro que son difíciles de cultivar a especies que sobreviven mejor. Aunque esto preserve solamente la dotación genética de las especies en peligro y, por tanto, no sea la mejor opción, puede ser de alguna utilidad en condiciones poco comunes.

14. La Trasferencia de embriones entre animales puede capacitar a sus parientes domesticados a ayudar a preservar a algunos parientes silvestres amenazados, como es el uso de ganado corriente como madres sustitutas para embriones banteng o gauer.

15. La Preservación con frío (Criopreservación) puede también ser apropiada en algunos casos de animales, pues a pesar de que los costos iniciales de coleccionar y congelar los embriones o los tejidos germinales son altos, una vez almacenados, si las fuentes de poder no se interrumpen, pueden ser mantenidos por décadas o siglos con poca reducción de viabilidad.

16. El análisis de ADN será también útil en los intentos ex situ para manipular poblaciones cautivas de organismos importantes que de otra manera se extinguirían debido a la destrucción del hábitat o a la depredación humana (Schonewald-Cox, 1983). A fin de cuentas esto puede ser la única forma de preservar algo de la "megafauna carismática" del este de África, de la India y del sureste asiático. Puesto que tales intentos de ninguna manera tienen garantía de éxito, deben considerarse medios alternativos. Algunas medidas desesperadas podrían involucrar la extracción de ADN de una especie y su almacenamiento en bibliotecas de ADN o bancos de clonas. Sin embargo, no debemos ilusionarnos mucho, pues este procedimiento sólo puede preservar una porción de la dotación genética de las especies, pero las especies mismas no son protegidas por tales medidas.

17. Cuando se discuten dichas posibilidades, deberá recordarse, sin embargo, que las pérdidas más grandes de la biodiversidad no vienen de la extinción de especies individuales, por trágico e irreparable que esto sea, sino más bien de la pérdida de comunidades y de sus interrelaciones y de las variaciones interespecíficas cuando los ecosistemas completos son trastocados y destruidos. De esta forma el éxito sustancial de la preservación de organismos, reduciéndolos a sus materiales genéticos constituyentes, debe ser considerado sólo un éxito pobre; y este no debe desviar energías encaminadas hacia la meta más importante que es preservar los ecosistemas intactos y funcionales.

ii) Medidas de conservación in situ:

18. Las medidas in situ son ampliamente reconocidas como los medios más eficientes para conservar la biodiversidad (OTA, 1987; McNeely, et. al., 1990, Reid & Miller, 1989). Las enormes presiones que llevan a la destrucción de los hábitat naturales dan una importancia absolutamente suprema al establecimiento de áreas de prioridad para la conservación. Esta es una empresa difícil ya que los catálogos necesarios de las plantas y los animales silvestres de los ecosistemas subsistentes bajo amenaza son también incompletos y en muchos casos no se dispone de ellos. Existen, sin embargo, tecnologías que pueden ayudar y las técnicas de la biotecnología moderna pueden jugar cuando menos un papel complementario.

19. El reto primordial subyacente a todos los esfuerzos para la conservación de la biodiversidad es la necesidad de entender qué es lo que queremos conservar necesitamos los catálogos más básicos de especies y poblaciones, particularmente en ecosistemas amenazados, para que puedan tomarse decisiones bien fundamentadas

sobre cuales son las prioridades de conservación. El requerimiento número uno es, por lo tanto, el estudio sistemático de las plantas, animales y microbios que forman parte de los ecosistemas amenazados. Esta necesidad puede llenarse, en gran medida, por muestreo metódico de las poblaciones de estos ecosistemas y catalogando la información básica de las características y distribución de los organismos. Proveer un adecuado recuento taxonómico de todas las especies requeriría del tiempo de vida de veinticinco mil profesionistas (Wilson, 1985-1988). Su producto final escrito llenaría 60 metros de repisas de biblioteca por cada millón de especies. Y aunque se contara con técnicas de apoyo computacional para reducir sustancialmente el costo y el esfuerzo, estas estimaciones siguen siendo desalentadoras si se considera que hoy en día están trabajando sólo cuatro mil sistematistas en toda Norteamérica, y que tanto el número de éstos, como el apoyo que se les brinda, van en constante disminución. Esto sugiere que el apoyo para investigaciones taxonómicas de los hábitats amenazados debería ser una de las más altas prioridades en cualquier intento para conservar la biodiversidad. Esto a su vez implica la necesidad de un mayor apoyo para la educación y entrenamiento de los taxónomos, que son muy pocos en la actualidad.

20. A pesar de la ausencia de información taxonómica satisfactoria es posible utilizar los datos que existen para establecer áreas prioritarias de conservación. La comparación entre el número de especies y la gama de distintas especies peculiares de distintas áreas permite calcular los índices de biodiversidad. Una vez que se ha identificado el área de conservación más prioritaria, la segunda prioridad se establece identificando una región que es similarmente rica cuya protección incluiría en la poza de conservación la mayor parte de la biodiversidad adicional. Con este método, un taller científico reciente llevado a cabo en Manaus identificó un 55% de la Amazonia como la mayor prioridad de protección (Kuliopulos, 1990). Métodos similares pueden ser usados para otras regiones o para establecer la prioridad de protección de poblaciones específicas de especies en peligro (May, 1990).

21. Probablemente las mayores contribuciones que la biotecnología hará a la conservación de la biodiversidad son indirectas. Sin embargo, también son probables algunas contribuciones directas. Un ejemplo de esto serían las aplicaciones de las sofisticadas técnicas de análisis de ADN (conocidas como el RFLP, o análisis del "polimorfismo en la longitud de fragmentos de restricción") que están adaptando a usos forenses (OTA, 1990). Las aplicaciones efectivas de medidas necesarias para la conservación de la biodiversidad están comenzando a aparecer (May, 1990). La literatura científica está ya repleta de aplicaciones ilustrativas de estas técnicas para el estudio de poblaciones naturales. Estas pueden ayudar por ejemplo, para distinguir poblaciones únicas de organismos amenazados de aquellas menos raras o en menor peligro. Es concebible que en ciertas circunstancias, tales exámenes pudieran identificar prioridades y ayudar a establecer límites para las áreas en conservación (Kuliopulos, 1990, May, 1990) o identificar organismos que deben ser protegidos para evitar que sean capturados o sometidos a comercio ilícito. Los nuevos desarrollos de las metodologías más tradicionales están realizando progresos en esta área (Van der Merwe, et. al. 1990, Vogel, et. al., 1990).

22. El uso de RFLP o análisis similares para distinguir poblaciones específicas de organismos amenazados es un ejemplo que ilustra la amplia variedad de usos de las técnicas de análisis de ADN al servicio de la biodiversidad, por ejemplo, en la identificación y catalogación de especies no descritas anteriormente, especialmente las de medios ambientes tropicales o marinos. No obstante que la necesidad más apremiante con respecto a la mayoría de las especies no descritas es la colección e identificación, o simple taxonomía alfa, la experiencia pasada sugiere que habrá numerosos taxa y diferentes niveles donde técnicas más precisas podrían ser útiles para resolver las

interrelaciones filogenéticas. El análisis de ADN ciertamente será útil a pesar de que el tiempo, el esfuerzo y los costos podrían limitar su aplicación sólo a los grupos más importantes en el futuro previsible. Al mismo tiempo los avances en el cultivo de tejidos y/o células ampliarán la aplicabilidad de los análisis de ADN a otros taxa difíciles de analizar de otra manera. Sin embargo, debe de tenerse cuidado en igualar el nivel tecnológico de la solución con el del problema. Una solución costosa de alta tecnología, para un problema esencialmente de baja tecnología (como la aplicación amplia e indiscriminada de técnicas de ADN al análisis taxonómico) puede no ser eficiente en términos de costo, y por tanto, podría retardar el progreso de las tareas de conservación.

B) Biotecnologías para la utilización rentable de la biodiversidad

i) Impacto del uso rentable de la biodiversidad en la producción:

23. Los desarrollos de la biotecnología en la década pasada han sido acompañados frecuentemente por afirmaciones exageradas sobre su impacto potencial en la agricultura. Hoy en día se dispone de predicciones más realistas en lo que respecta a la aplicación potencial de nuevas tecnologías en la agricultura y al tiempo probable que tomarán estas aplicaciones (ver tabla 1).

24. Las estimaciones más confiables del impacto probable de las tecnologías emergentes sobre la agricultura son aquellas de las que se dispone en los Estados Unidos, en donde los cambios anticipados para el año 2000 fueron analizados por la oficina de Asesoría Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos (OTA, 1986).

25. Se espera que se incrementen los rendimientos de la mayoría de los cultivos desde un 0.7% por año en el caso del algodón, hasta un 1.2% por año para el trigo y la soya. En ausencia de desarrollo y uso de nuevas biotecnologías en plantas y animales se esperaría que los incrementos de rendimiento fueran sólo del 25 al 50% de estas cifras. En la próxima década se espera que el mayor cambio ocurra en la producción animal debido, principalmente, al uso de hormona de crecimiento bovino (bST), para estimular la producción de leche en vacas lecheras.

Tabla 1 Algunas aplicaciones representativas, actuales o potenciales, de los organismos modificados genéticamente sobre el medio ambiente

MICROORGANISMOS

Bacterias como pesticidas Bacteria ice/minus para reducir los daños causados por las heladas a los cultivos agrícolas.

Bacterias portadoras de la toxina Bacillus Thuringiensis para reducir la pérdida de las cosechas de maíz causada por el gusano cortador negro.

Hongos micorrhízicos para incrementar la velocidad de crecimiento vegetal al mejorar la eficiencia de captación de nutrientes por la raíz.

Simbiontes vegetales. Bacterias fijadoras de nitrógeno para aumentar la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas y disminuir la necesidad de fertilizantes.

Eliminación de residuos tóxicos. Bacterias modificadas para incrementar sus capacidades para degradar compuestos en campos de cultivo, tiraderos, depósitos de desperdicios y suelos contaminados.

Recuperación de metales pesados. Modificaciones por ingeniería genética que permiten a diversas especies de bacterias recuperar metales a partir de aleaciones de bajo grado (por ejemplo cobre y cobalto).

Control de la contaminación. Posible incremento en la utilidad de las bacterias para eliminar fósforo, amoníaco y otros compuestos de las fuentes de agua potable.

Virus utilizados como pesticidas. Virus de insectos con especificidad de huésped o virulencia incrementadas contra plagas agrícolas, incluyendo el insecto podador de la col, la termita del pino, el gusano cortador y otros.

Mixoma virus modificado para restituir su virulencia hacia los conejos (los cuales se hicieron resistentes durante los esfuerzos de biocontrol en Australia).

Virus empleados como vacunas. Vacunas contra enfermedades humanas que incluyen:

- hepatitis A y B
- polio
- herpes simplex (oral y genital)
- síndrome de inmunodeficiencia adquirida
- rabia
- virus sincicial respiratorio

Vacunas contra enfermedades animales que incluyen:

- seudorrabia porcina
- rotavirus porcino
- estomatitis vesicular (ganado vacuno)
- enfermedad del pie y la boca (ganado vacuno)
- rotavirus bovino
- rabia (vacas y otros mamíferos)
- virus de la bronquitis infecciosa (pollos)
- eritroblastosis aviar
- sindvis virus (ovejas, vacas, pollos)

Vacunas multivalentes. Vacunas posibles para enfermedades antigénicamente complejas como:

- malaria
- enfermedad del sueño
- esquistosomiasis

PLANTAS

Resistencia o tolerancia a herbicidas tales como:

- Glifosato
- Atrazina
- Sulfonilurea (clorosulfurón y sulfometurón)
- Imidazolinona
- Bromoxinil
- Fosfinotricina

Resistencia a enfermedades:

- Enfermedad de agalla de la corona (tabaco)
- Virus del mosaico del tabaco (y virus relacionados)
- Virus del enrollamiento de la hoja de papa

Resistencia a pesticidas

Cultivos protegidos con la toxina BT, incluyendo tabaco (principalmente como herramienta de investigación) y tomate. Semillas con contenido incrementado de sustancias antiingestión para reducir las pérdidas por insectos durante su almacenamiento.

Tolerancia incrementada hacia factores ambientales, incluyendo:

- Salinidad
- Resequedad
- Temperatura
- Metales pesados

Incrementos en la fijación de nitrógeno.

Aumento en la fijación de nitrógeno por plantas no leguminosas, independiente de su asociación con bacterias simbióticas.

Algas marinas

Algas modificadas para incrementar la producción de compuestos tales como B-caroteno y agar, o para aumentar su capacidad para secuestrar metales pesados (por ejemplo oro y cobalto) del agua de mar.

Silvicultura.

Arboles con resistencia a enfermedades o herbicidas, con mayor velocidad de crecimiento, o más tolerantes al estrés ambiental.

ANIMALES

Animales de cría y aves

Animales de cría modificados para incrementar su velocidad de aumento de peso, crecimiento, capacidad reproductiva, resistencia a enfermedades o características de la piel.

Animales de cría para la producción de productos farmacéuticos, especialmente de compuestos de mamíferos que requieren modificaciones postsíntesis en la célula.

Peces

Salmones triploides producidos por choque térmico para usarlos como game fish en lagos y ríos.

Peces con velocidades de crecimiento aumentadas, resistencia al frío, a las enfermedades para uso en acuicultura.

Carpas triploides del grano para usarse como agentes de control de malas hierbas acuáticas.

ii) Contribución rentable de la biodiversidad para el mejoramiento de los bosques y la producción de cultivos:

26. Las aplicaciones de la biodiversidad a la producción de cultivos por medio de la biotecnología tienen que ver con i) cultivo de células y tejidos, incluyendo la propagación rápida de microorganismos y plantas, ii) nuevos diagnósticos basados en el uso de anticuerpos monoclonales y sondas de ácidos nucleicos para el diagnóstico de enfermedades vegetales y la detección de sustancias extrañas, tales como los pesticidas en los alimentos, iii) la ingeniería genética de especies vegetales para introducir nuevas características, y iv) nuevas técnicas de mapeo genético para los programas de cruce de plantas.

27. La biotecnología vegetal incluye tecnologías bien establecidas, tales como el uso de la bacteria *Rhizobium* en la fijación de nitrógeno por especies de leguminosas; el control biológico de plagas, el diagnóstico de enfermedades y la cruce de plantas. El apoyo a la biotecnología moderna no deberá hacerse a expensas de estas tecnologías bien establecidas. Sólo cuando estas áreas estén fortalecidas las tecnologías más sofisticadas de la biología moderna podrán ser trasplantadas a los sistemas ya existentes (Persley, 1990).

28. La vía principal de aplicación de la biotecnología a la producción de cultivos será el desarrollo de nuevas variedades de plantas con características novedosas. La cruce de plantas de muchos países está actualmente reducida por barreras institucionales y de infraestructura (Persley, 1990). Los programas de cruce de plantas son un prerrequisito necesario para la aplicación exitosa de la biotecnología a la producción de cultivos. Las mejorías de los bancos de semillas serán integrales.

29. Ingeniería genética de plantas: Los componentes claves de la ingeniería genética son: 1. Identificación y aislamiento de genes adecuados para transferirse. 2. Sistemas para introducir los genes deseados a las células receptoras, y 3. Expresión de una nueva información genética en las células receptoras.

30. Actualmente se están haciendo progresos para refinar las técnicas que permitan a un gene de una especie ser transferido y expresado en otras especies. Una limitación actual a la ingeniería genética de las plantas es la carencia de sistemas de regeneración y transformación eficientes, especialmente para plantas monocotiledoneas, que incluyen a los principales cereales del mundo. No obstante, se están haciendo rápidos progresos en la manipulación genética de estas especies, y casi cada mes se informa de una nueva transformación exitosa de plantas.

31. Actualmente la limitación principal del desarrollo comercial de la ingeniería genética es la escasez de genes útiles, que al ser transferidos con controles moleculares apropiados, confieran características benéficas a la planta receptora. Es cierto que muchos genes útiles siguen aún sin ser identificados en variedades silvestres, incluyendo las que están amenazadas.

32. En algunos cultivos ha habido un éxito espectacular en la identificación de genes útiles, tales como los de tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos y resistencia a virus. Los éxitos con los cultivos tales como el tabaco y el tomate han proporcionado sistemas modelo, que necesitan ahora ser adaptados a plantas económicamente más importantes.

33. Los cultivos creados por la ingeniería genética para la resistencia a insectos o enfermedades deberán ofrecer mejorías en los rendimientos, de forma tal que rivalicen con los pesticidas químicos en uso; no deberán requerir sistemas de distribución sofisticados, equipo adicional, entrenamiento especial, ni compras anuales de semillas para que el campesino los use. Como tales, parecen estar adecuadamente diseñados para la agricultura de bajo costo del tercer mundo (Persley, 1990). Un ejemplo particularmente sorprendente, tiene que ver con la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), un cultivo muy importante en las regiones tropicales y el más importante cultivo alimentario en Africa (Fauquet y Fargette, 1990). Las pérdidas de yuca en Africa por el virus del mosaico africano de la yuca (ACMV), van del 20% al 95%, con una pérdida de rendimiento estimada en un 50%. Se ha propuesto una iniciativa importante para mejorar los rendimientos por modificación de la resistencia al ACMV conseguida por ingeniería genética a través de la transformación de la yuca con genes de la cubierta protéica del virus (Fauquet & Beachy, N.D.). El potencial para ganancias sustanciales es significativo, y las perspectivas son parecidas para otros cultivos importantes afectados por enfermedades virales. Existen ejemplos similares para algunas plagas y para enfermedades bacterianas (OTA, 1988; Persley, 1990 a,b).

34. El mapeo genético como un auxiliar en la mejoría de cultivos: un resultado impactante y elegantemente simple de la tecnología del ADN recombinante involucra la construcción de un nuevo tipo de mapa genético, conocido como mapa RFLP, como ayuda a los programas convencionales de mejoramiento vegetal. RFLP es la abreviatura de polimorfismo en la longitud de fragmentos de restricción, que surge del uso de enzimas especiales conocidas como enzimas de restricción. Estas enzimas son utilizadas para identificar marcadores genéticos específicos en diversos sitios de los cromosomas de un organismo. Es posible construir un mapa detallado de marcadores genéticos precisamente localizados. Esto amplifica enormemente la capacidad de quienes realizan el mejoramiento vegetal (o animal) para seleccionar las características deseadas en programas de cruce practicados de manera convencional. Otra ventaja de los mapas RFLP es que hacen posible desarrollar programas de mejoramiento para características controladas por más de un gene. Estas características multigénicas incluyen muchas propiedades de valor en la agricultura tales como la tolerancia a la sequedad (Martin, et al., 1989).

35. Los mapas RFLP se están convirtiendo en componentes importantes de los programas de mejoramiento de muchos cultivos. El mapeo genético se podría convenir en una herramienta poderosa en los programas de mejoría de cultivos en el Tercer Mundo, particularmente para aquellos cultivos en donde ya existen programas convencionales de mejoramiento. En la actualidad los centros de investigación agrícola internacionales están usando el mapeo genético para algunos cultivos alimentarios básicos y hay potencial para su uso más amplio en dichos centros.

36. Diagnósticos agrícolas. Las nuevas tecnologías se están aplicando a la detección de microorganismos reactivos (particularmente pesticidas) y productos vegetales. El progreso en las tecnologías de ensayo ha hecho posible el desarrollo de métodos específicos sensibles y fáciles de usar para muchos propósitos agrícolas (Presley, 1990).

37. Al considerar la aplicación potencial de un nuevo reactivo de diagnóstico agrícola, los siguientes factores son importantes: que la tecnología esté bien desarrollada, que sea posible su aplicación inmediata y que sea potencialmente aplicable a todos los cultivos y a la mayoría de las plagas y enfermedades. Una vez que el blanco específico sea identificado, algunos nuevos diagnósticos podrán, mediante contratos, hacerse más rentables en los países industrializados que en el país de uso. El uso (a diferencia de la

preparación) de anticuerpos monoclonales no requiere de alta tecnología y su aplicación debería ser posible en la mayoría de los países.

38. Las agencias de desarrollo internacional podrían contribuir a la preparación de nuevos reactivos de diagnóstico adecuados a las necesidades de países en desarrollo o de regiones particulares, cooperando con las organizaciones de investigación del sector público y compañías privadas en aspectos específicos del desarrollo de equipos de diagnóstico; lo que incluye definir a los usuarios finales y las necesidades del mercado, probar prototipos y realizar los ensayos finales para establecer las necesidades locales y para desarrollar datos interpretativos, financiar proyectos específicos y/o garantizar compras mínimas de los equipos, entrenar a los usuarios y establecer canales de distribución.

39. Los países que decidan utilizar métodos modernos de diagnóstico para resolver problemas agrícolas deben optar entre desarrollar los sistemas necesarios internamente, importar los sistemas existentes en los países industrializados, o buscar socios de estos países que les ayuden en el desarrollo local de sistemas de diagnóstico específicos. Mucho se avanzaría adaptando los sistemas existentes para satisfacer los requerimientos locales.

40. Las nuevas tecnologías con potencial para su aplicación a corto plazo en la producción de cultivos son: i) Diagnósticos agrícolas, de los que se pueda disponer fácilmente y que puedan ser usados ampliamente en muchos países ii) mapeo genético de los principales cultivos tropicales, como apoyo a los programas convencionales de mejoramiento vegetal, particularmente en la selección de características multigénicas tales como la resistencia a la resequedad y la tolerancia a la salinidad, iii) resistencia a virus vegetales, por medios novedosos, y iv) novedosos agentes de biocontrol para el control de plagas, para reducir el uso de pesticidas.

41. La silvicultura es un área en la cual los métodos de biotecnología modernos podrían tener un impacto positivo sustancial. El potencial es tan grande, como poco lo que se sabe sobre la genética de la mayoría de las especies de árboles. El mapeo genético apoyado en los RFLPs ofrece, por primera vez, la oportunidad práctica de identificar genes útiles en especies de árboles. Las técnicas de transformación ya han sido desarrolladas para trasladar estos genes a plantas leñosas, y existe, por lo tanto, potencial para mejorar las cualidades de resistencia a plagas o enfermedades, y otras características útiles en las especies de árboles importantes. Una limitación es que la mayoría de las regiones tienen especies de árboles típicos, por lo que puede ser difícil producir variedades mejoradas para uso extensivo en diversas regiones.

iii) Aportaciones de la biodiversidad a la producción de animales de granja y a la acuicultura:

42. En el sector de la producción animal también están obteniéndose éxitos al utilizar métodos de la biotecnología. Productos genéticos específicos, tales como las hormonas de crecimiento de vacas y cerdos, pueden ser producidos en cantidades comerciales transfiriendo el gene clonado de la hormona de crecimiento a bacterias en cultivo. La producción de anticuerpos monoclonales para usarlos como reactivos de diagnóstico y agentes terapéuticos es ahora relativamente sencilla, y muchos reactivos de diagnóstico nuevos están disponibles comercialmente. La selección de sexo, clonación y transferencia de embriones, y la eliminación selectiva de células germinales masculinas, son otras áreas de la producción animal donde son probables avances a corto plazo.

43. La producción de nuevas vacunas con ADN recombinante ha demostrado ser más difícil de lo que se esperaba, ya que las vacunas producidas en células bacterianas no son precisamente las mismas que se producen en células animales (Persley, 1990).

44. El ganado es el blanco principal para la aplicación de la mayor parte de las nuevas tecnologías, ya que éstas son las especies animales más importantes económica y socialmente debido a que su alto valor individual justifica nuevas inversiones en biotecnología. Las aplicaciones de la biotecnología a la crianza de ganado deben ser escogidas cuidadosamente, de tal manera que favorezcan a los productores en pequeña escala y que no incrementen las desigualdades existentes dentro del país y entre países.

45. Control de enfermedades de animales: Las enfermedades infecciosas pueden ser clasificadas en tres grandes categorías: 1. enfermedades epidémicas que dañan severamente al ganado (por ejemplo, tripanosomiasis) 2. enfermedades que dañan al hombre y al ganado (por ejemplo, la rabia) y 3. enfermedades infecciosas que dañan a los sistemas de producción intensiva. Las primeras dos categorías son particularmente importantes en el Tercer Mundo.

46. El control de enfermedades tiene cuatro componentes: diagnóstico de los animales afectados, tratamiento, prevención y erradicación de determinadas poblaciones de animales con precauciones adecuadas para evitar su reintroducción. Los avances tecnológicos en estas cuatro áreas están mejorando los prospectos de control de las enfermedades de los animales del Tercer Mundo.

47. Las aplicaciones de corto plazo de las nuevas tecnologías para la producción de ganado relevantes para el Tercer Mundo son probablemente: i) tecnología de embriones, especialmente para ganado ii) nuevas vacunas contra enfermedades infecciosas. iii) nuevos diagnósticos para aumentar la precisión y la eficiencia en la identificación de enfermedades y, iv) el mapeo genético como una ayuda para los programas de mejoramiento animal.

48. El potencial de la biotecnología para contribuir a la acuicultura también es alto. Los peces en particular son lábiles en su genética y su desarrollo, y congenian particularmente con manipulaciones genéticas. Numerosos laboratorios en Norteamérica y en Europa tratan de investigar las modificaciones de la velocidad de crecimiento u otras características comercialmente valiosas. Los moluscos y crustáceos también están siendo manipulados en proyectos que tienen gran potencial económico para los criaderos de peces en cautiverio, que proliferan rápidamente en Asia (Persley, 1990a). Es necesario hacer notar la carencia de reglamentación adecuada para las modificaciones introducidas por ingeniería genética a los peces y a las especies acuáticas en general. Esto es una motivo de preocupación ya que algunas de las introducciones más destructivas de especies exóticas han ocurrido en los medios ambientes acuáticos (OTA, 1988). Igual que con otras introducciones de organismos modificados por ingeniería hay buenas razones para creer que las autoridades responsables de la reglamentación pueden hacer las preguntas correctas y saber que respuestas son necesarias para asegurar los niveles adecuados de producción ambiental.

III. Perspectivas socioeconómicas

49. En muchos países las posibilidades de mejorar la producción agrícola con las tecnologías existentes son todavía amplias. Sin embargo, es limitado lo que podría conseguirse con las tecnologías existentes. Las consideraciones ambientales también están deteniendo la rápida expansión agrícola hacia nuevas tierras. El desarrollo de las nuevas tecnologías será uno de los factores clave para obtener los incrementos

sustanciales en la producción de los alimentos que son requeridos para hacer frente a las poblaciones en expansión del Tercer Mundo.

50. El cambio más importante que ha sufrido la investigación agrícola en los países industrializados en la década pasada ha sido el sustancial incremento del papel del sector privado en el financiamiento de la investigación en la biotecnología moderna. En 1987 el gasto total en investigación y desarrollo de la biotecnología agrícola se estimó en 900 millones de dólares americanos, de los cuales 550 millones correspondieron al sector privado. Los gastos en biotecnología agrícola de los países en desarrollo son una pequeña fracción de estos totales.

51. El tiempo que transcurre entre el momento en que se hace la inversión en nueva biotecnología, y el de obtener resultados económicamente útiles es, en la actualidad, aproximadamente de diez años. Este período es similar al de la investigación agrícola más convencional, en la que toma aproximadamente diez años producir una nueva variedad de cultivo, de animal, una nueva vacuna o un reactivo farmacéutico. Por tanto, el primer impacto significativo en la producción, producto de las inversiones que se hacen en la actualidad en biotecnología, probablemente aparecerá alrededor del año 2000. A partir de entonces la biotecnología moderna se convertirá en un componente crecientemente importante de las nuevas tecnologías para cultivo, silvicultura y ganadería. Estos diez años representan el tiempo disponible para ayudar a los países pobres y a las secciones más pobres de la sociedad a beneficiarse de los cambios económicos y sociales que están ahora en proceso.

52. Es probable que la biotecnología cambie las ventajas comparativas entre países y entre bienes de consumo, particularmente para productos de exportación. La aplicación de las nuevas tecnologías para productos de exportación mejorará la posición competitiva de éstos en el mercado internacional.

53. Los efectos socioeconómicos que probablemente la biotecnología tendrá en el Tercer Mundo serán positivos en términos de incrementar la productividad de las especies tropicales, satisfacer necesidades futuras de alimentación, abrir nuevas oportunidades para el uso de tierras marginales y reducir el uso de agroquímicos. También podría haber efectos negativos potenciales, por ejemplo, al ofrecer la posibilidad de obtener productos de alto valor en cultivo de tejidos en países industrializados, desplazaría a los cultivos que hoy en día se producen para la exportación en el Tercer Mundo. Los efectos negativos potenciales de la sustitución deberán ser estudiados por agencias internacionales de desarrollo, que hagan los ajustes necesarios para corregir los efectos económicos dañinos que pudieran resultar de la sustitución.

54. La biotecnología representa un desafío particular para los países y los agricultores más pobres. Estos son los grupos que serán probablemente afectados más adversamente por los cambios sociales y de comercio que acompañan a las modificaciones en la tecnología agrícola. Las consecuencias comunes del cambio tecnológico son: el desplazamiento de granjas pequeñas por granjas mayores y el desplazamiento de centros de producción a nuevas áreas que han desarrollado una mayor ventaja comparativa. El cambio tecnológico plantea un dilema. Sin un cambio en la tecnología es probable que sea adecuado el balance entre la oferta y la demanda de productos básicos en muchos países. Con el cambio tecnológico las granjas más pequeñas tienen mayor dificultad para ajustarse a las nuevas condiciones de producción.

55. En la próxima década, habrá necesidad de apoyar a los países para disminuir los costos sociales y económicos de los cambios tecnológicos que están ocurriendo hoy. Reforzar la capacidad de investigación, facilitar la transferencia de tecnología vía las

licencias adecuadas y los tratados de colaboración con laboratorios de investigación establecidos, buscar comercio irrestricto para los productos de exportación, proveer asistencia en la planeación de políticas de investigación y reconocer las necesidades específicas de los pequeños agricultores son algunos de los medios para lograr que el impacto socioeconómico de la biotecnología sea más favorable (Banco Mundial, 1989, Barker, 1990, Buttel, 1990).

IV. Derechos de propiedad intelectual y derechos de los agricultores

56. Una de las divergencias más importantes entre las actitudes de los países industrializados y los países en vías de desarrollo ha sido la relativa a los derechos de propiedad intelectual. Recientemente, se ha señalado que la protección de los derechos de propiedad intelectual podría estimular los esfuerzos de conservación de la biodiversidad en los países en desarrollo (RAFI, 1989, Sedjo, 1989). Este es en parte, el reflejo de un reconocimiento amplio y hoy casi universal de la incompetencia de los mandos gubernamentales para promover el desarrollo en ausencia de mecanismos adecuados para recompensar a los innovadores, y es también el reconocimiento de la poderosa contribución que la industria privada puede hacer al desarrollo en presencia de tales mecanismos y de las grandes contribuciones de las comunidades indígenas.

57. En el pasado el grado de protección de los derechos de propiedad intelectual en un país, ha sido más o menos proporcional a su nivel económico. Conforme los países en desarrollo han progresado económicamente, la protección de los derechos de propiedad intelectual se ha incrementado. Esta ha sido una consecuencia tanto de la presión ejercida en los foros multilaterales (WIPO, GATT) y especialmente en tratados bilaterales, en particular con los Estados Unidos, así como del reconocimiento de que conforme un país produce propiedad intelectual, desarrolla un interés para protegerla. En los últimos tiempos, aún algunas voces tradicionalmente opuestas a la extensión de los derechos de propiedad intelectual a los materiales vivos han dado su apoyo a tales proposiciones (RAFI, 1989, Sedjo, 1989) con la expectativa de que se incrementen, de esta manera, los incentivos para el desarrollo y la protección de los recursos bióticos.

58. Uno de los mayores obstáculos sigue siendo la disparidad de los medios disponibles para recompensar la generación de propiedad intelectual que existe entre los países industrializados y los países en desarrollo. En los países industrializados se dispone de una variedad de medidas más o menos efectivas (OTA, 1989). Lo anterior no es cierto para los países en desarrollo, donde la propiedad intelectual, particularmente la relevante a los materiales biológicos o a la biotecnología, es el resultado de la acción de las comunidades agrícolas, a menudo a través de generaciones. Fue por esta razón que la comisión intergubernamental de recursos genéticos vegetales desarrolló el concepto de derechos de los agricultores. Todavía no se dispone de un método efectivo de reconocimiento y compensación por el uso de recursos genéticos desarrollados de esta forma, aunque recientemente se han emitido algunas sugerencias constructivas al respecto (Keystone, 1990).

59. Un elemento clave de estas sugerencias es la propuesta de un mecanismo que obligue a reservar una porción de las ganancias, derivadas de los materiales desarrollados por los agricultores del Tercer Mundo, para dedicarla a la conservación de la biodiversidad. Si tal esquema se aplicara con éxito podría ayudar a financiar trabajos significativos de conservación, mejorando al mismo tiempo las capacidades de la industria privada para encontrar buenos mercados para los productos de la biotecnología en el tercer mundo, y estimulando así la actividad industrial, la que mejorará las economías en desarrollo.

60. En el futuro el acceso a los avances de la ciencia y la tecnología, de que hasta ahora se disponía gratuitamente como bienes públicos, parece que será restringido, conforme los derechos de propiedad intelectual y la investigación del sector privado adquieran mayor importancia en los países industrializados. La habilidad para reconocer los avances que en los laboratorios de todo el mundo se hagan en la investigación relacionada con problemas locales relevantes y negociar la adquisición de esta tecnología será de gran importancia para la gestión en la administración de la investigación. Los gobiernos deberán llevar estos temas a los foros internacionales relevantes tales como el GATT y el WIPO.

V. Mecanismos para el desarrollo cooperativo

61. La movilización de los pocos recursos disponibles hacia sistemas nacionales de agricultura y otros sistemas nacionales de investigación, requerirá de nuevas políticas y acuerdos institucionales que busquen desarrollar una investigación colaborativa más fuerte y establecer programas de entrenamiento con los laboratorios de biotecnología establecidos en otros lugares, y estimular un fortalecimiento de la investigación en biotecnología tanto del sector público como del sector privado.

62. Existen diferencias significativas en la forma en que está organizada la investigación en biotecnología en distintos países. Algunos países han escogido concentrar sus recursos en un instituto de biotecnología central. Otros prefieren integrar la biotecnología a los sistemas de investigación agrícolas y de otro tipo, ya existentes. Cualquiera que sea el mecanismo institucional escogido, el eslabón crítico es la colaboración interdisciplinaria efectiva entre los biólogos moleculares, los microbiólogos, patólogos, agrónomos, mejoradores animales y legisladores. Se requiere más de nuevas iniciativas que de nuevas instituciones, y éstas deberán apoyarse en la investigación agrícola y biológica tradicional, no desplazarla.

63. Cómo integrar mejor la biotecnología a los programas de investigación agrícolas existentes, cómo planear el adiestramiento de personal, cómo acceder y adaptar la biotecnología desarrollada en otros sitios, cómo organizar y financiar acuerdos de colaboración con otras empresas de biotecnología, cómo unificar criterios para la protección de los derechos intelectuales, y cómo asegurar las salvaguardas sociales y ambientales adecuadas; son preguntas críticas, recurrentes en todos los países que buscan desarrollar su capacidad biotecnológica.

64. El primer paso para dar respuesta a estas preguntas consiste en reforzar la estructura de las ciencias biológicas básicas. Sin esto ningún país puede aspirar razonablemente al uso productivo de la biotecnología. En gran medida las posibilidades de aplicar la biotecnología a la conservación de la biodiversidad y de enfrentar problemas de rentabilidad dependen del sector privado de los países industrializados. Las habilidades de este sector se complementan, en la mayoría de los países industrializados, con un sistema de investigación fuerte, financiado públicamente, que a su vez se refuerza por las demandas que le plantea una industria agrícola activa. El reforzamiento de las capacidades biotecnológicas depende del desarrollo de investigación colaborativa y de la implementación de acuerdos entre los sectores público y privado a través de las fronteras entre países. Un papel importante que podría jugar la comisión de planeación estructural sobre la diversidad biológica, en colaboración con las agencias de desarrollo internacional, sería facilitar la adquisición de información relevante, de instalaciones, de técnicas y de experiencia para ayudar a los países a beneficiarse de esta nueva tecnología.

65. Una política biotecnológica que busque que los beneficios de la biotecnología fluyan mejor de los países con fuerte capacidad técnica y de investigación hacia aquellos mucho más débiles a este respecto, deberá fijarse tres objetivos principales: 1. La necesidad de asegurar que los beneficios estén disponibles para todos los países en desarrollo 2. La necesidad de alentar las actividades de investigación y desarrollo que refuercen la capacidad productiva de los pequeños agricultores, y 3. La necesidad de proteger el ambiente, mediante un uso racional de las nuevas tecnologías.

66. Una vía para ello sería que la aceptación de estos objetivos se tradujese en una respuesta operacional por parte de la nueva comisión sobre biodiversidad, en colaboración con agencias de desarrollo internacional, basada en el conocimiento de la tecnología disponible; en encontrar formas de transferir esa información para atacar problemas junto con las habilidades para usarla, en negociar la reglamentación de la tecnología y las construcciones genéticas cuyo uso está regido por derechos de propiedad intelectual, y en asegurar que existen las salvaguardas adecuadas para proteger a la sociedad de cualquier liberación poco cuidadosa de los nuevos materiales biológicos.

67. No obstante, debe enfatizarse que estas tareas van más allá de las responsabilidades técnicas en la preparación de proyectos que las agencias de desarrollo internacional aceptan en la actualidad. Estas tareas requieren de habilidades, hasta ahora no consolidadas ni en las instituciones no lucrativas, ni en los centros agrícolas internacionales u otros centros de investigación, ni en grupos de consulta privados. Este es un obstáculo importante que limita el incremento del apoyo a las actividades biotecnológicas por parte de las agencias internacionales de desarrollo. Este es un problema que estas agencias deben resolver ahora, reforzando su capacidad interna en biotecnología y recurriendo a fuentes apropiadas de asesoría externa que los apoye en la preparación de proyectos (World Bank, 1989).

68. Las agencias de desarrollo internacional están apoyando ya cierto número de proyectos de investigación agrícola nacional que incluyen elementos sustanciales de biotecnología. También varios de los países tecnológicamente más avanzados están preparando solicitudes de apoyo financiero en programas de biotecnología para los próximos años. Estos son incentivos que deberían multiplicarse.

69. Los mecanismos de préstamo normales de las agencias de desarrollo internacional continuarán siendo de gran beneficio para los programas de biotecnología nacional en países en desarrollo tecnológicamente avanzados, pero depender únicamente de este mecanismo sería de poco beneficio para los países más pobres. Es probable que estos países requieran de apoyos financieros y programas de investigación innovativos, algunos de ellos colaborativos, para resolver problemas agrícolas específicos y para dar a los científicos y administradores locales experiencia práctica en las nuevas tecnologías.

70. Es necesario desarrollar nuevos métodos para satisfacer las necesidades de los países más pequeños y más pobres. Entre los mecanismos suplementarios que pueden ser considerados está el desarrollo de consorcios de investigación entre varios países para promover la solución de problemas específicos sobre los "bienes huérfanos", siendo que estos bienes son importantes sólo en el Tercer Mundo; y en los cuales hay actualmente muy poca inversión en biotecnología moderna.

71. Debido a la rapidez del cambio en la biotecnología moderna y la disponibilidad de nuevas tecnologías para acelerar el desarrollo de la biodiversidad, las agencias de desarrollo internacionales deben dar pasos significativos para promover la biotecnología. Las solicitudes de préstamo y apoyo financiero para programas de biotecnología de un

país pueden ser preparadas y evaluadas de la manera usual, especialmente para los países tecnológicamente más avanzados. Al hacer esto, las agencias de desarrollo internacional necesitarán asesoría adicional que no es fácilmente accesible en el presente, aunque exista tanto personal como fuentes de consulta convencionales. Tales agencias deben buscar fuentes adecuadas de asesoría sobre los temas involucrados.

72. Individualmente los países considerados, también tienen una necesidad de acceso fácil a asesorías imparciales que les permitan integrar mejor la biología moderna (biotecnología) a sus programas de desarrollo e investigación en las áreas agrícola, forestal, médica y otras. Esta asesoría debiera estar disponible antes de que se tomen las decisiones sobre la búsqueda de fuentes de financiamiento externas de nuevos programas en biotecnología. Dicha asesoría puede incluir la ayuda para planear los programas nacionales de biotecnología propuestos, vistos en relación con la investigación internacional actual, con los resultados comerciales de la biotecnología y con grupos de países o regiones con clima similar y con condiciones y problemas agrícolas similares. Las recomendaciones estarían enfocadas a asegurar que estos programas se orientasen hacia las prioridades y políticas nacionales y que fuesen complementados por recursos del sector público y privado para hacer que los productos nuevos resultantes estén disponibles para los agricultores (World Bank, 1989, Persley, 1990a).

TEXTO

VI. Riesgos planteados por la biotecnología

i) Introducción planeada de organismos producidos por la ingeniería

73. El riesgo, más a menudo mencionado, que la biotecnología puede plantear a la diversidad biológica vendría de las introducciones premeditadas de organismos modificados por la ingeniería al medio ambiente. La razón por la que este riesgo causa preocupación es la destrucción sustancial que las especies exóticas han causado en ambientes no nativos a los que se han introducido (Ebenhard, 1988; Elton, 1958; Herbold y Moyle, 1986, Mooney y Drake, 1986, Simberloff, 1981). Este argumento se deriva de las supuestas similitudes entre los organismos exóticos y los creados por ingeniería genética. La situación es complicada, aún más, por las dificultades para predecir el resultado o las consecuencias de las introducciones, cualquiera que sea el organismo en cuestión. No obstante, un examen cuidadoso de las similitudes y diferencias entre los organismos exóticos y los modificados por la ingeniería sugiere que el problema, de hecho, es menor de lo que en principio se supondría (OTA, 1988).

74. La similitud principal es que en ambos casos un organismo genéticamente "nuevo" una vez que es introducido, pasa a formar parte de un ecosistema donde no se encontraba previamente (Colwell, 1988). Esto significa que puede haber recursos explotables que no estaban disponibles en el ambiente original del organismo o que constreñían su crecimiento y reproducción y limitaban su número, por lo que en su medio ambiente natural ya no podían operar. El liberarlos de tales restricciones ha llevado, a veces, a la colonización excesiva de los nuevos medios ambientes por parte de las especies introducidas; especialmente ciertas especies de malas yerbas que son buenas colonizadoras, con fuertes impactos destructivos. Sin embargo, no deberá ignorarse que la mayoría de las introducciones de especies exóticas fracasan, extinguiéndose la población migrante por múltiples razones.

75. Las diferencias principales entre los organismos exóticos y los obtenidos por ingeniería surgen cuando uno examina su genética en algún detalle. Mientras que un organismo exótico introducido representa un genoma completo "nuevo" para el ambiente

receptor, con un organismo producido por ingeniería, en un futuro previsible, se estarían introduciendo sólo unos pocos genes nuevos, quizá dos o tres, usualmente sólo uno. El resto del material genético de los organismos obtenidos por ingeniería, es en la mayoría de los casos, idéntico al de los otros organismos ya presentes en el medio ambiente en número sustancial. Esto es particularmente cierto para ecosistemas agrícolas que serán el sitio para la inmensa mayoría de las introducciones planeadas de organismos creados por la ingeniería, aunque no para todas ellas. Esto simplifica los problemas de evaluación y predicción de riesgos.

76. Aunque las complejidades de la genética y la ecología hacen difícil anticipar lo que podría ocurrir cuando, literalmente, miles de variables están involucradas (es decir, todos los genes del genoma del organismo exótico), al limitar las diferencias materiales a un grupo de variables, las asociadas con el nuevo gene introducido al organismo modificado, el grado de incertidumbre se reduce enormemente (ver OTA, 1988 pp. 85-88). En el caso del organismo exótico todos los genes involucrados han coevolucionado a través de un largo período, y se puede esperar que trabajen juntos bastante bien como paquete o unidad. Con los organismos modificados, la adición de uno o dos genes totalmente noveles a un genoma previamente coherente puede más probablemente imponer una carga o una cuota al receptor. De hecho, en algunos casos, conseguir que el organismo modificado sobreviva por un tiempo suficientemente largo en el ambiente receptor puede representar el obstáculo más importante para este organismo. Y finalmente, la relación de los organismos modificados con el medio ambiente receptor es esencialmente familiar (NAS, 1989), excepto posiblemente por el nuevo gen o genes, mientras que para el organismo exótico, por definición, las relaciones son todas "noveles" y desconocidas.

77. La reflexión sugiere que el modelo mejor para la introducción de especies modificadas por la ingeniería, es el de la introducción de variedades agrícolas. Tales introducciones han tomado lugar a lo largo de miles de años aunque es cierto que la agricultura per se ha sido la causa de muchas destrucciones serias de las comunidades y ecosistemas naturales en la historia de la humanidad (de hecho es la fuerza motriz principal que amenaza a la biodiversidad); las preguntas relevantes son vistas mejor en el contexto de las prácticas agronómicas en general, que en aquel que involucra productos de la biotecnología en particular. De hecho, muchos productos de la biotecnología prometen ser ambientalmente mucho más benignos y costeables que los usados en las prácticas agrícolas ampliamente diseminadas en la actualidad. Sería irónico que una sensibilidad ambiental desarrollada recientemente, impusiera requerimientos de seguridad que impidieran el desarrollo de métodos más nuevos y preferibles, y por lo tanto perpetuara la confianza en las tecnologías incosteables de la actualidad. Un observador de un país en desarrollo ha llegado tan lejos como para sugerir, públicamente, que frente a la grave amenaza ambiental que confrontan los países en desarrollo, el tipo de cálculos costo-beneficio llevado a acabo en las naciones industrializadas podría ser inadecuado para los países en desarrollo (Hodgson, 1990).

78. También se ha sugerido que las modificaciones de las plantas cultivadas, conseguidas por medio de la biotecnología, pueden permitirles crecer en lugares que antes les eran inadecuados, tales como áreas secas o suelos tropicales lateríticos. Esto podría acelerar la deforestación en algunas regiones, al mismo tiempo que incrementar tanto las similitudes con organismos exóticos (Colwell, 1988) como las preocupaciones asociadas a la seguridad. Aunque este panorama no esta fuera de lo razonable tampoco es el más probable. Las modificaciones genéticas necesarias para incrementar la adaptación de plantas a, por ejemplo, suelos lateríticos se conocen pobremente y son mucho más complejas que las modificaciones genéticas necesarias para incrementar la resistencia a enfermedades y plagas. Es por tanto probable que incrementar los rendimientos obtenidos a través de nuevas variedades biotecnológicas disminuya las presiones de

desforestación mucho antes que la adaptación de los organismos modificados por la ingeniería a los suelos tropicales pudiera incrementarlas. El aumento de la tolerancia de las plantas a la resequedad es una posibilidad más próxima, y aunque las plantas tolerantes a la resequedad podrían incrementar las presiones sobre los bosques amenazados por ella (que incluyen algunos de los ecosistemas más seriamente amenazados) parece probable que harán una mayor contribución para reducir las áreas desertificadas.

79. Muchos estudios autorizados han examinado estos y otros temas relacionados con la pregunta de cómo garantizar mejor la seguridad de los productos de la nueva biotecnología, especialmente aquellos productos vivos que deban ser liberados o introducidos al ambiente con el fin de cumplir las funciones planeadas para ellos (OTA, 1988; NRC, 1989, Tiedje, et al, 1989, RCEP, 1989). El consenso general que surge es que aunque hay desafíos que superar antes de que sea posible una predicción precisa de las consecuencias de muchas introducciones al ambiente de organismos modificados por la ingeniería, es ahora claro qué clase de preguntas deben formularse y qué clase de respuestas son necesarias para garantizar la seguridad.

80. En general los temas más importantes involucran preguntas sobre el riesgo más relativo que absoluto (es decir, no cómo podemos hacer que el riesgo de este producto sea igual a cero, si no más bien, como se compararían los riesgos potenciales de este producto con los de los productos o prácticas que desplazarían o reemplazarían). La clave de la capacidad para contestar estas preguntas es el grado de familiaridad que se tenga con el nuevo producto, con la fuente de la cual se derivó y con los ambientes en los cuales se introducirá. Al incrementarse la familiaridad también se incrementa la confianza en la capacidad de predecir el resultado de las manipulaciones de distintos tipos. Al integrar estas preguntas en un análisis sistemático y metódico se podrán emitir juicios sanos y confiables en relación a las preocupaciones potenciales asociadas con la introducción de determinado organismo obtenido por ingeniería. Para el 20 de septiembre de 1990, el servicio de inspección de la salud vegetal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos había expedido permisos para pruebas de campo de 98 organismos modificados por ingeniería en 29 estados de la Unión Americana y en Puerto Rico (con un total mundial que ahora se aproxima a 200 pruebas) y todas habían sido conducidas sin detectar ninguna consecuencia negativa sobre el ambiente o la salud pública.

81. Los esquemas regulatorios existentes varían entre países. Algunas naciones han escogido proponer nuevas leyes diseñadas específicamente para tratar con los temas surgidos de los procesos y productos de la biotecnología (por ejemplo, Alemania) mientras que otros han decidido usar las leyes ya existentes para proveer la autoridad regulatoria necesaria (por ejemplo, los Estados Unidos). Otros más todavía no han tomado decisiones finales sino que están actuando alternativamente ya de una, ya de la otra manera. La fórmula adoptada es necesariamente específica para cada país.

82. Aunque no hay un método consensual claro y obvio, es importante notar que una revisión exhaustiva de todos los temas relevantes a la bioseguridad para los productos biotecnológicos involucra una amplia variedad de disciplinas biológicas. Esto puede complicar la tarea para países en desarrollo que desean implementar un proceso regulatorio nacional que descansa enteramente en sus propios científicos. Varios países, buscando llenar las brechas en sus capacidades, han establecido acuerdos cooperativos y colaborativos con agencias regulatorias norteamericanas o de otra nacionalidad. Las naciones deberán estar preparadas para compartir su experiencia y cooperar con los países en desarrollo para garantizar una supervisión adecuada de la seguridad. [*3]

83. Una exploración de estos temas por el Banco Mundial (junto con el gobierno australiano y el servicio internacional para la investigación agrícola ISNAR) mostró recientemente que podría ser recomendable establecer algún tipo de oficina de información o de asesoría, ya sea dentro de, o bien, asociada con el Banco Mundial para ayudar a los países en desarrollo que quieran que el desarrollo e investigación en biotecnología forme parte del paquete de préstamos para el desarrollo solicitado al banco. Dicho banco no ha decidido todavía ninguna acción formal final, a pesar de que se ha notado que gran parte de los Centros de investigación agrícola internacionales, bajo la égida del grupo consultivo de investigación agrícola internacional, poseen mucho de la experiencia relevante (por ejemplo, IRRI, ISNAR). De hecho gran parte del trabajo en este tema iniciado como estudio conjunto se está llevando a cabo ahora por el ISNAR. No está claro que el banco mismo vaya a tomar alguna decisión mientras que no lo propicien las peticiones de los países en desarrollo. Mientras tanto muchas otras organizaciones en el sector privado están intentando llenar al menos algunas de las brechas existentes y estimular el desarrollo e investigación en biotecnología, en conjunción con el desarrollo de los mecanismos apropiados o los cuerpos de supervisión para conducir análisis de bioseguridad. Un grupo activo es el grupo de seguridad en biotecnología UNIDO/WHO.

ii) La Biotecnología y la Erosión de la Diversidad Genética de Especies Domesticadas

84. Otra área en la que se ha argumentado que la biotecnología representa una amenaza a la biodiversidad, involucra la propagación de variedades particulares de especies domesticadas. El razonamiento es que la biotecnología llevará a innovaciones individuales, tales como cultivos resistentes a insectos, que serán tan ventajosos para que los agricultores enfrenten amenazas particulares a la productividad, que ciertas variedades transformadas serán ampliamente adoptadas. Esto llevará a su vez, al retiro de ciertas cepas o variedades no alteradas que serán ya obsoletas y el resultado final será la pérdida de biodiversidad genética en los cultivos domesticados y un estrechamiento de la diversidad genética por reducción de las variedades remanentes del cultivo (ver Dixon, 1990).

85. A pesar de que este panorama tiene algún fundamento debe señalarse que el problema descrito no es privativo de las variedades producidas con las herramientas de la biotecnología, sino que más bien es un problema que ocurre en general en la agricultura cuando nuevas variedades reemplazan a las viejas. El problema es muy serio, pero deberá notarse que las técnicas de la biotecnología son más fácilmente aplicables para provocar alteración o protección similar de variedades múltiples de materiales o cepas iniciales, que los métodos de cruce tradicionales. Más aún, el evitar el uso de las nuevas herramientas poderosas de la biotecnología claramente no representa una solución.

86. La biotecnología debe ser empleada para reparar las medidas hasta ahora inadecuadas de conservación de germoplasma de especies domesticadas y de sus parientes. Será especialmente importante y difícil implementar tales medidas de conservación en países tropicales en desarrollo donde la agricultura tradicional domina hoy en día y la infraestructura para apoyar los estudios biotecnológicos es pobre o inexistente. Buena parte de la agricultura tradicional explota una gama mucho más amplia de especies y variedades de lo que lo hace la agricultura en gran escala de las latitudes templadas (McNeely, 1989). Es en este contexto que la aplicabilidad no específica de muchas de las técnicas de la biotecnología puede conferir ventajas inusitadas. El objetivo de la reforma agrícola en estas regiones no deberá ser el de reconstruir la agricultura nativa sobre el modelo de la agricultura de los climas templados, sino más bien moldear las herramientas de la biotecnología moderna para mejorar la agricultura tradicional y así preservar e incrementar la adaptabilidad y flexibilidad de los sistemas tradicionales.

iii) Biotecnología y desarrollo rentable:

87. Otro motivo de preocupación es que a pesar de que la biotecnología debiera enfrentar más efectivamente las necesidades de un desarrollo rentable, parte de la investigación en biotecnología se está dirigiendo hacia desarrollo no rentable y no refleja necesariamente los intereses a largo plazo de la comunidad internacional. En teoría la biotecnología podría ayudar a que las prácticas agrícolas fueran más sanas ambientalmente, eliminando o reduciendo su dependencia respecto a los agroquímicos potencialmente contaminantes.

IV Biotecnología y demografía de la agricultura

88. La biotecnología podría cambiar la demografía de la agricultura. Los cultivos principales de alto valor exportados a países desarrollados se han vuelto los blancos de la sustitución o la sobre producción a través de la investigación biotecnológica. Esto, apoyado por reformas políticas institucionales ilegales, podría desestabilizar, destruir o alterar los patrones de comercio, el empleo en el campo, las ganancias del intercambio con el exterior, así como aspectos agroindustriales en los países en desarrollo y la vida de millones de pequeños campesinos.

CITAS:

[*] Luther Val Giddings. Servicio de Inspección de Salud Animal y vegetal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Traducción de María García Castro, Profesora e Investigadora del Departamento de Sociología de la UAM-Azcapotzalco.

[*3] Es política explícita de USDA/APHIS dar la bienvenida a tales solicitudes de cooperación. Estas habrán de ser dirigidas al Sr. Terry Medly, J.D., Director de Biotecnología, Biológicos y Protección Ambiental, del Servicio de Inspección de Salud Vegetal y Animal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 6505 Belcrest Road, Hyattsville, MD 20782 U.S.A. tel. 301436-7601, telefax 301-436-8669.

BIBLIOGRAFIA:

Barker, R. (1990). Socioeconomic impact. In: *Agricultural Biotechnology: Opportunities for International Development* (ed. G.J. Persley). CAB International, Wallingford, U.K, p. 229-310.

Brown, A.H.D., O.H. Frankel, D.R. Marshall, and J.T. Williams (editors) (1989). *The Use of Plant Genetic Resources*. Cambridge University Press. New York.

Buttel, F.H. (1990). Sociological impact. In: *Agricultural Biotechnology: Opportunities for International Development* (ed. G.J. Persley). CAB International. Wallingford, U.K, p. 311-321.

Colwell, Robert K (1988). Ecology and Biotechnology: Expectations and Outliers in J. Fiksel & V.T. Covello (eds.) *Risk Analysis Approaches for Environmental Releases of Genetically Engineered Organisms*. NATO Advances Sciences Institutes Series, Volume F. Springer Verlag. Berlin pp. 163-180.

Dixon, Bernard (1990). Biotech's effects on biodiversity debated *Bio / Technology* 8(6):499. June.

Ebenhard, T. (1988). Introduced birds and mammals and their ecological effects. *Swedish Wildlife* 13(4):1-107.

Ehrlich, P.R. (1988). *The loss of diversity: Causes and consequences in Biodiversity*, ed. E.O. Wilson. National Academy Press. Washington D.C.

Elton, C.S. (1958). *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. Chapman & Hall. London.

Fauquet, Claude, & Roger Beachy. N.D. *Cassava Viruses and Genetic Engineering*. International Cassava Trans Project Publication. Washington University in St. Louis, MO/ ORSTOM, Paris.

Fauquet, Claude & Denis Fargette (1990). African Cassava Mosaic Virus: Etiology, Epidemiology, and Control. *Plant Disease* 74(6):404-411.

Herbold, B., and P.B. Moyle (1986). Introduced species and vacant niches. *American Naturalist* 128:751-760.

Hodgson, John (1990). Appropriate biotech for Africa. *Bio/Technology* 8:793 (September).

Keystone Center (1990). *Final Consensus Report of the Keystone International Dialogue Series on Plant Genetic Resources, Madras Plenary Session (29 January-2 February, 1990)*. The Keystone Center. Keystone, Colorado.

Kloppenborg, Jack R., Jr. (editor) (1988). *Seeds and Sovereignty*. Duke University Press. Durham, N.C.

Kuliopulos, H. (1990). Amazonian biodiversity. *Science* 248:1305. 15 June.

Martin, Bjorn, J. Nienhuis. G. King and A. Sxhaeffer (1989). Restriction fragment length polymorphisms associated with water use efficiency in tomato. *Science* 2/3:1725-28. 31 March.

May, Roben M. (1990). Taxonomy as destiny. *Nature* 347:129-130. 13 September.

McNeely, Jeffrey A. (1989). Conserving genetic resources at the farm level. *ILEIA Newsletter*, December, 1989:3-6.

McNeely, Jeffrey A., K. R. Miller, W. V. Reid, R. A. Mittermeier, & T. B. Werner (1990). *Conserving the World's Biological Diversity*. IUCN, Gland, Switzerland; WRI, CI, WWF-US and the World Bank, Washington, D. C.

Mooney, H. A. and J. A. Drake (editors) (1986). *Ecology of Biological Invasiones of North America and Hawaii* Springer-Verlag. New York.

National Research Council (1980). *Consersion of Tropical Moist Forests*. National Academy Press. Washington, D. C.

National Research Council (1982). *Ecological Aspects of Development in the Huimd Tropics*. National Academy Press. Washington, D. C.

National Research Council (1989). *Field Testing Genetically Modified Organisms: Framework for Decisions*. National Academy Press. Washington, D.C.

National Research Council, Institute of Medicine (1990). *Developing New Contraceptives: Obstacles and Opportunities*. National Academy Press. Washington, D.C.

National Science Board (1989). *Loss of Biological Diversity: A Global Crisis Requiring International Solutions. A Report to the National Science Board from the Committee on International Science's Task Force on Global Biodiversity*. National Science Foundation. Washington, D.C.

Office of Technology Assessment, United States Congress (1984). *Commercial Biotechnology: An International Analysis*. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.

Office of Technology Assessment, United States Congress (1986). *Technology, Public Policy, and the Changing Structure of American Agriculture*. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Office of Technology Assessment, United States Congress (1987). *Technologies to Maintain Biological Diversity*. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.

Office of Technology Assessment, United States Congress (1988). *New Developments in Biotechnology, 3 -Field-Testing Engineered Organisms: Genetic and Ecological Issues*. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.

Office of Technology Assessment, United States Congress (1989). *New Developments in Biotechnology, 5-Patenting Life*. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.

Office of Technology Assessment, United States Congress (1990). *Genetic Witness: Forensic Uses of DNA Tests*. U.S. Government Printing Office.

Persley, G.J. (1990a). *Beyond Mendel's Garden: Biotechnology in the Service of World Agriculture*. CAB International, Wallingford, U.K. 155p.

Persley, G.J. (1990b). *Agricultural Biotechnology: Opportunities for International Development*. CAB International. Wallingford, U.K. 481p.

Reid, Walter V., and K.R. Miller (1989). *Keeping Options Alive: The Scientific Basis for Conserving Biodiversity*. World Resources Institute. Washington, D.C.

Royal Commission on Environmental Pollution (1989). *Thirteenth Report: The Release of Genetically Engineered Organisms to the Environment*. Her Majesty's Stationery Office. London.

Rural Advancement Fund International (1989). *Biotechnology and Medicinal Plants*. RAFI Communique, March, 1989 1-10.

Schonewald-Cox, C., S.M. Chambers, B. MacBryde & L. Thomas (eds.) (1983). *Genetics and Conservation: A Reference for Managing Wild Animal and Plant Populations*. Benjamin/Cummings. Menlo Park, California.

Sedjo, Roger A. (1989). *Property Rights for Plants*. Resources for the Future No. 97 (Fall, 1989):1-4.

Simberloff, D. (1981). Predicting ecological effects of novel entities: Evidence from higher organisms. in M.H. Nitecki (ed.) (Biotic Crises in Ecological and Evolutionary Time. Academic Press. New York.

Soule, Michael E., & B.A. Wilcox (eds.) (1980). Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective. Sinauer. Sunderland, M.A.

Tiedje, James M., R.K Colwell, Y.L Grossman, R.E. Hodson, R.E. Lenski, R.N. Mack, & P.J. Regal (1989). The Planned Introduction of Genetically Engineered Organisms: Ecological Considerations and Recommendations. *Ecology* 70(2):297-315.

United States Department of Agriculture, Economic Research Service (1988). World Food Needs and Availabilities, 1988/89: Summer. Washington, D.C.

Van der Merwe, N.J., J.A. Lee-Thorp, J.F. Thackeray, et al. (1990). Source-area determination of elephant ivory by isotopic analysis. *Nature* 346:744-46. 23 August.

Vogel, J.C., B. Eglinton, and J.M. Auret (1990). Isotope fingerprints in elephant bone and ivory. *Nature* 346:747-49. 23 August.

Wilson, E.O. (1985). The biological diversity crisis: A challenge to science. *Issues in Science & Technology* 2:20-25.

Wilson, E.O. (editor) (1988). Biodiversity. National Academy Press. Washington, D.C.

Wolf, Edward C. (1985). Conserving Biological Diversity. in L.R. Brown, et al. (editors). *State of the World -1985*. W.W. Norton & Co. New York.

World Bank (1989). Agricultural Biotechnology Study Technical Report. December, 1989. 54 p.