

Biodiversidad y bioseguridad: su relación con la biotecnología

[Emilio Muñoz](#)

Instituto de Estudios Sociales Avanzados (CSIC)

Introducción

Es un hecho ya comúnmente aceptado que la biotecnología, y en particular la llamada "nueva" biotecnología, es un tecnología emergente, horizontal, con la capacidad de revolucionar los procesos productivos en cualquiera de los sectores económicos. La relación entre el soporte científico y técnico que requiere la biotecnología y sus usos y aplicaciones en los diversos sectores económicos ha sido analizada y proyectada en modelos relacionales arboriformes (véase, por ejemplo, Muñoz 1997a).

Sin embargo, las grandes expectativas en que se mueve la biotecnología tropiezan con un contexto de debate y conflicto social y político. En este contexto, las relaciones entre biotecnología y medio ambiente, con sus eventuales repercusiones en alteraciones de la naturaleza y la salud humana, son particularmente conflictivas. (Muñoz, 1996). Los indicados modelos relacionales no han tenido en cuenta estos factores dialécticos, que condicionan el desarrollo de la biotecnología.

En el presente trabajo tratamos de avanzar en la profundización en dos factores o elementos, que pueden ser, con su adecuado tratamiento y proyección, decisivos para un eficiente desarrollo socio-económico de la biotecnología. Estos dos factores son la bioseguridad y la biodiversidad. En un trabajo previo (Muñoz, 1995) ya planteé la necesidad de considerar estos dos temas como factores claves para una política sobre la biotecnología. Bioseguridad y biodiversidad son cuestiones que están estrechamente relacionadas entre sí y que interconectan, a su vez, con los soportes científicos y técnicos indispensables para que la biotecnología sea posible como instrumento de producción (Muñoz, 1997a). Biodiversidad y bioseguridad son, por lo tanto, fuerzas o vectores decisivos para que la biotecnología presente una resultante de éxito en un contexto socio-económico marcado por la complejidad.

1. Definición y desarrollo de la bioseguridad

La estrecha conexión entre la (antigua) biotecnología con los procesos de producción de alimentos y de obtención de fármacos de gran relevancia terapéutica y social pudo hacer pensar en la biotecnología como una tecnología intrínsecamente segura. Por otro lado, aunque los procesos de modificación genética, introducidos a principios de los setenta, que conducían a la aplicación y al desarrollo de la moderna biotecnología condujeron a un primer punto de alarma social, fueron los propios científicos los que desde la atalaya privilegiada de los Estados Unidos promovieron un primer avance de autorregulación (la Conferencia Asilomar, estado de California, en 1975 y la promulgación de las directrices de los Institutos Nacionales de la Salud (NIH, en 1976). En este sentido, se puede considerar que la biotecnología ha estado sujeta, desde sus orígenes, a diferencia de lo que ocurrió con otras industrias modernas como la química y la nuclear, a un estrecho control y a la

formulación de principios de regulación.

Como se acaba de apuntar, la sujeción a procesos de regulación adquirió un carácter, hasta cierto punto sorprendente, puesto que fueron los propios científicos, quizás movidos por la salvaguarda de sus intereses como algunos analistas sociales han establecido (Kay, 1993), quienes impusieron la conveniencia de moratorias respecto al uso intensivo y extensivo de la tecnología del DNA recombinante. Reconocieron la relevancia de su desarrollo, pero, al mismo tiempo, se preocuparon por las posibles consecuencias de la manipulación genética de organismos, que en los primeros momentos concernía esencialmente a las bacterias y otros microorganismos, sobre la salud humana y sobre el medio ambiente.

Las preocupaciones sobre las eventuales consecuencias de la modificación genética de los seres vivos han ido creciendo como resultado de varios factores. La extensión en la aplicación de estas técnicas a organismos superiores; la creciente comercialización de productos derivados de organismos genéticamente modificados, el aumento de los movimientos sociales -organizaciones defensoras del medio ambiente y de los consumidores, de modo principal- expresando críticas frente a un desarrollo científico y técnico que, según esas organizaciones, puede acarrear problemas para el entorno natural y para los seres humanos. En estas reacciones sociales se produce una mezcla de racionalidades científicas y técnicas con argumentos de carácter emocional y, a veces, anti-científicos, cuya heterogeneidad y complejidad hace difícil su tratamiento, como yo mismo he puesto de relieve en un reciente artículo sobre las "racionalidades contrapuestas" en relación con la aplicación de la moderna biotecnología al sector agroalimentario (Muñoz, 1997b, 1998a).

La propia complejidad de la biotecnología en la que he venido insistiendo repetidamente (véase Muñoz, 1997c, 1998b), determina que la aproximación a los problemas que plantea su desarrollo y aplicación debe realizarse sectorialmente, acotando lo que suponen tales aplicaciones de coste y beneficio para cada sector industrial -agrario, agroalimentario, farmacéutico, químico, de aplicación medioambiental, energético.- y para cada proceso -selección de un organismo; cultivo del mismo y en qué condiciones; bioprocesos industriales que originan productos y desechos. En una situación ideal, convendría empezar a hablar de aplicar el concepto de bioseguridad al análisis de casos concretos y específicos, una vez que se ha avanzado en la formulación de mecanismos de regulación de corte general.

Los avances en los requisitos de seguridad son, a su vez, dependientes de la tradición. En este contexto, es evidente que la seguridad de los productos en el ámbito de la industria farmacéutica está cubierta por una contrastada experiencia en la práctica de ensayos de calidad, seguridad y eficacia. El sector agroalimentario posee también una amplia tradición al respecto, pero con criterios obviamente menos restrictivos y presenta, por lo tanto, más margen para el debate social, a la par que ofrece mayor terreno a la participación de las organizaciones de consumidores. Por último, y no menos importante, el control del riesgo medioambiental es más reciente en sus prácticas, lo que añade dificultades a su puesta en práctica.

En el contexto actual de preocupación por las consecuencias sanitarias y medioambientales de los usos de la (moderna) biotecnología, las regulaciones que rigen en el mundo para cumplir con el concepto de bioseguridad en el desarrollo (industrial) de la biotecnología son ricas y variadas. Pretenden suministrar protección al trabajador y al medio ambiente, completando con este nuevo enfoque, la protección que han merecido, de modo tradicional, los consumidores y usuarios.

Nos encontramos de este modo con un panorama altamente complejo que configura un escenario en el que se producen conflictos entre los grandes bloques, entre los expertos y los ciudadanos, entre los distintos segmentos del poder político, ejecutivo y legislativo y entre diferentes grupos epistémicos o cognitivos -ecólogos vs biólogos moleculares, taxónomos u holistas vs reduccionistas, sintéticos vs analíticos.

Por ello, también el mundo de la investigación en el ámbito de la bioseguridad ofrece un campo preñado de obstáculos, como pudo comprobar la Comisión Europea al poner en marcha una línea de financiación sobre Bioseguridad dentro de los programas de biotecnología en los últimos años (programa BRIDGE (1990-1993) y BIOTECHNOLOGY (1992-1994), en los que se pudo constatar las dificultades para lanzar proyectos satisfactorios en esta línea que fueran aceptados por la comunidad científica.

1.1 El panorama de la bioseguridad en el fin del siglo XX

En lo que sigue trataré de ofrecer una visión panorámica de la situación en la segunda mitad de los noventa en lo que concierne a los problemas que se relacionan con la bioseguridad y el marco regulatorio en que nos movemos.

Obras básicas consultadas para ofrecer este análisis son las siguientes: *Biosafety in Industrial Biotechnology* (P. Hambleton, J. Melling and T.T. Salusbury (eds)); *Animal cells as bioreactors* (T. Carwright); *Protein biotechnology* (G. Walsh and D. Headon).

En la primera parte de este recorrido se describen, de forma sumaria, algunos de los problemas y riesgos que surgen de las operaciones industriales de la biotecnología; en la segunda parte se ofrece una visión esquemática, desde el prisma comparado, de las regulaciones existentes, mientras que en la tercera parte se aborda una discusión sobre las implicaciones del uso de organismos transgénicos.

1.1.1 Las operaciones industriales y sus riesgos

Los aerosoles

Es indudable que la mayoría de las operaciones de explotación industrial de la biotecnología generan aerosoles con el material que se ha manipulado, lo que supone su incorporación en la cadena humana que trabaja o se relaciona con los mismos.

Por lo que concierne a los organismos vivos utilizados, es difícil predecir el grado de supervivencia cuando están en suspensión en el aire, a menos que se lleve a cabo un detallado estudio aerobiológico en condiciones idénticas a las que se siguen en la operación industrial. Existe la posibilidad de que un análisis de esta naturaleza ofrezca impresiones o previsiones que sean difíciles de extrapolar en relación con la capacidad infectiva.

Se estima (véase Norris, 1994) que la única generalización posible concierne a la relación entre virulencia y tamaño de las partículas. Esta dependencia depende de las supervivencia del organismo y de la eficiencia infectiva de una partícula depositada en el tracto respiratorio que es dependiente del tamaño de la partícula.

Es preciso señalar que, en general, se tiende a emplear cepas avirulentas o atenuadas, aunque es preciso advertir a este respecto que la definición de avirulencia o atenuación es difícil de presentar en términos absolutos. Como es bien conocido, hay factores como la dosis, la vía de entrada y la resistencia del huésped que matizan esa definición. Es oportuno recordar a este respecto que dosis muy elevadas de un organismo, que no es

patógeno por sí mismo o por su acceso a lugares habitualmente inaccesibles -como puede ser el caso de la médula espinal o del cerebro-, pueden causar importantes infecciones.

En cualquier caso, es pertinente señalar que la vía de entrada de los aerosoles es, en general, inhabitual para la mayoría de los microorganismos.

La Organización Mundial de la Salud estableció un Grupo de Trabajo en 1982 para explorar los eventuales riesgos de las bacterias modificadas genéticamente y atenuadas en su virulencia. Los trabajos del Grupo concluyeron a partir de los estudios de valoración, que la posibilidad de que las células portadoras de DNA modificado generaran nuevos riesgos es escasa, aunque tampoco podían concluir categóricamente que estuvieran libres de riesgos potenciales. Esta situación es un reflejo del conflicto que siempre existe entre la realidad de los resultados experimentales en un contexto concreto y la dificultad de su proyección en términos prospectivos. Algunos autores han criticado la ausencia, en los trabajos de ese grupo, de un diseño experimental adecuado en términos aerobiológicos (Norris, 1994).

La respuesta alérgica de los individuos expuestos a aerosoles con material biológico es difícil de evaluar, puesto que puede ser necesario que transcurran largos periodos de tiempo para que se detecten los síntomas. Por ello, se recomienda desde los principios de la bioingeniería industrial que se documenten adecuadamente todas las modificaciones en la planta industrial o en las condiciones de trabajo para que se puedan evaluar las consecuencias (las contribuciones de Wedem a principios de los setenta, un investigador norteamericano asociado con la Defensa norteamericana, son importantes a este respecto).

En cualquier caso, es preciso concluir acerca de la extrema dificultad de prevenir la transmisión de microorganismos o de sus productos en forma de aerosoles, ya que éstos no se detectan por la vista y pueden permanecer en las atmósferas cerradas por espacio de varias horas. La prevalencia e insidia de esta forma de infección es notable, por lo que se hace preciso conocer e investigar el comportamiento de los aerosoles y la respuesta del tracto respiratorio humano con el fin de avanzar en el conocimiento y la prevención de las enfermedades laborales u ocupaciones el ámbito de la biotecnología industrial.

Principales riesgos sanitarios en el ámbito industrial

Los riesgos sanitarios, se pueden dividir en cinco categorías:

- a. infección por patógenos,
- b. reacciones alérgicas a micro-organismos viables y no viables,
- c. reacciones alérgicas a productos,
- d. reacciones a endotoxinas,
- e. reacciones tóxicas.

Estos riesgos que podríamos llamar riesgos clásicos o tradicionales se completan con los "nuevos" riesgos derivados del empleo de cultivos celulares de origen animal o vegetal, o de microorganismos modificados genéticamente que son menos conocidos y que deben ser objeto de continua investigación y evaluación. El Cuadro I recoge un resumen de esta problemática.

Cuadro I. Resumen de los riesgos, procesos y factores en la biotecnología industrial

Riesgo

Historia (casos)

Factores y Procesos

Infecciones por patógenos

- Pocos casos descritos *Aspergillus, Pseudomonas*
- Riesgo con sobredosis de no-patógenos (personas con predisposición)
- Los casos con patógenos escasos y reflejo de uso indebido *B. abortus* (1939, en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Michigan)

Pseudomonas pseudomallei (meliodosis en un técnico de laboratorio 1980-1981)

Reacciones alérgicas

- Existe idea de una amplia gama de materiales que producen alergia Alergia a materiales (polen, polvo, serrín, harina, soja) y productos (antibióticos y enzimas)
- Un solo caso bien documentado de brote (proteasas de *B.subtilis*) Alergia a microorganismos (*Aspergillus* sobre todo *Penicillium*; *B. thuringiensis*)
- Muchos microorganismos pueden causar estas reacciones (*A.niger* en una planta de ácido cítrico, UK, 1984-85; en Checoslovaquia, 1960; bioinsecticida, 1959)

Reacciones endotóxicas

- Trabajadores textiles (algodón, 1990); Lipolisácaridos de bacterias gram-negativas (enfermedad respiratoria crónica)
- disminución función respiratoria (*Enterobacter agglomerans*);
- investigación militar (*Serratia marcescens*, pérdida función respiratoria 1996)
- inhalación -aerosoles industria- (*Methylophilus methylotrophus*, 1982) producción proteínas unicelulares (síntomas de gripe)
- aerosoles (*Pseudomonas aeruginosa*, 1982) procesos de purificación ("aguas abajo")

Reacciones tóxicas a productos o

- Inhalación (producción de Organismos modificados genéticamente para

subproductos

- contraceptivos orales, 1987, 1979, 1981);
• exposición a barbitúricos;
- producir fármacos biológicos (hormonas, interferones) →
→ problemas ginecológicos.
- Producción barbitúricos (droga en sangre).
- exposición a antibióticos (mujeres en la industria, 1987)
 - uso de organismos productores de toxinas (cánceres, 1979, 1990)
- Producción de estreptomina, penicilina y tetraciclina (deficiencia vitaminas, problemas ginecológicos).
- Productores de toxinas (*Aspergillus flavus* y *A. oryzae*)

Riesgos derivados de la ingeniería genética

- Histeria (reacciones sociales)
- Fundamentalmente microorganismos (GMMOs) procesos industriales (bioprocesos)

Riesgos derivados de cultivos celulares de origen animal

- No hay casos descritos (potenciales peligros → virus-cáncer)
- Producción de fármacos biológicos en grandes cantidades (principio de precaución)

Riesgos derivados de cultivos celulares vegetales

- No hay casos
- Gran proyección futura-riesgos derivados de los productos como en el caso anterior

Riesgos derivados de los biorreactores

- Válvulas de toma de muestras
 - No deben generar aerosoles si hay equipamiento adecuado
 - Centrífugas continuas pueden generar problemas si la retirada de la masa celular es manual
 - Aerosoles con partículas de pequeño tamaño y células no viables
 - Dificultad en generar aerosoles
 - Puede ser peligroso
- Fermentación (grandes volúmenes), posibles alergias
- Centrifugación
- Rotura de células (riesgos endotóxicos)

Filtración

Manejo productos
(precaución uso de
ventilación y usar
preferentemente líquidos o
granulado)

Fuente: Adaptación propia, a partir de la información en A.M. Bennett (1994) en *Biosafety in Industrial Biotechnology*.

1.1.2 Medidas de protección de la seguridad biológica

Legislación Europea

Los países desarrollados se han dotado de sistemas de regulación relativos al empleo de la ingeniería genética o a los usos o aplicaciones de los organismos genéticamente modificados. Sin embargo, los orígenes temporales y políticos, así como las trayectorias de estas regulaciones, han sido muy diversos. Así, Holanda, Reino Unido y Alemania Occidental fueron los países que establecieron a lo largo de los 70, de modo voluntario, directrices sobre estas cuestiones. El Reino Unido produjo la primera ley relativa al empleo de la "nueva biotecnología" - "Health and Safety (Genetic Manipulation) Regulations" de 1978- fijando un sistema obligatorio de notificación de los experimentos y aplicaciones de los organismos genéticamente modificados.

En el resto de Europa, los procesos de control de la biotecnología a lo largo de los años ochenta respondieron a iniciativas voluntaristas y bienintencionadas. El primer movimiento para recurrir a un sistema armonizado de control surge desde la OCDE. Esta Organización elaboró un informe titulado "Biotechnology: International Trends and Perspectives", que dio origen a un programa de trabajo, dirigido por el Comité de la OCDE sobre Política Científica y Tecnológica. Este programa, orientado al estudio de los temas relativos a la seguridad en las aplicaciones de la biotecnología, convocó a una serie de *expertos nacionales* que desarrollan su trabajo en el periodo 1983-1986 para promover unas nuevas directrices "Recombinant DNA Safety Considerations" que gozaron de una aceptación generalizada. Es importante subrayar, como ha hecho notar Taylor (1994), que el informe de la OCDE reconocía de modo explícito "that there is no scientific basis for specific legislation to regulate the use of r-DNA organisms". Sin embargo, esta recomendación no iba a ser seguida. Las razones son, sin duda, varias. Yo me atrevo a proponer las siguientes que creo tienen una base política y social. En primer lugar, la creciente reacción social ante los usos de la ciencia y la tecnología; el aumento en la relevancia de los problemas medioambientales con la consiguiente repercusión política; por otro lado, la combinación de un aumento de la responsabilidad de los expertos con un incremento del déficit de su credibilidad.

La Comisión Europea inició sus actividades sobre la regulación y el control de las operaciones de ingeniería genética a finales de 1986, en unos momentos en los que sólo el Reino Unido y Dinamarca se habían provisto de cierta legislación específica en relación con el control de la modificación genética. La Comisión sometió a la consideración del Consejo de Ministros una comunicación - "Community Framework for the Regulation of Biotechnology"- en la que se fijaban las grandes líneas para la regulación en el ámbito comunitario con el fin de configurar un alto nivel y una puesta en común para la protección de los ciudadanos y el medio ambiente en el seno de la Comunidad Europea. La evolución del proceso sirvió para poner de manifiesto la lucha política entre las diferentes Direcciones Generales en el marco de sus competencias. Las primeras prescripciones, cuatro en concreto, surgen en junio de 1987, tras un trabajo preparatorio, y tienen su origen en tres centros directivos distintos. Dos de ellas procedían de la Dirección General

XI, responsable del Medio Ambiente, y se referían a la diseminación deliberada en el medio de los organismos genéticamente modificados y el control de los accidentes y la gestión de los residuos en el uso confinado de organismos peligrosos y modificados genéticamente. Una tercera directiva proviene de la Dirección General V (responsable de los Asuntos Sociales) y se proponía la protección de los trabajadores ante los riesgos derivados de su exposición a agentes biológicos en el lugar de trabajo. Una cuarta directiva, propuesta por la Dirección General de Industria (Dirección General III), concernía al "uso coordinado de microorganismos modificados que no son responsables de procesos patológicos". Esta directiva se inspiraba en los principios de la OCDE sobre Buenas Prácticas en la Práctica Industrial.

La discusión interna debió ser intensa y llevó a la decisión de incorporar las propuestas de la Dirección General XI y de la Dirección General III en una sola normativa, una directiva que se centraba en el uso en recinto cerrado de los organismos genéticamente modificados. Esta nueva propuesta era liderada por la DGXI lo que determinó un cambio en la naturaleza de la estructura regulatoria. En lugar de una disposición orientada hacia los usos industriales, la nueva Directiva se polarizaba hacia las preocupaciones medioambientales y a los riesgos que podrían originarse como consecuencia de "posibles fugas".

La Directiva de la DG V, relacionada con la protección de los trabajadores, fue pospuesta hasta 1990 en que reapareció como una pieza separada de legislación Europea. Fue adoptada por el Consejo de Ministros en noviembre de 1990 con la obligación de ser puesta en práctica en noviembre de 1993 (1994 en Portugal). Sus disposiciones incluían el desarrollo de un esquema de clasificación para todos los agentes biológicos de acuerdo con los cuatro tipos de riesgos considerados como habituales en el contexto internacional.

Las Directivas 90/219 y 90/220 sobre usos de organismos genéticamente modificados

Estas dos Directivas fueron aprobadas por el Consejo de Ministros en abril de 1990. Constituyen la base normativa para desarrollar actividades de investigación y desarrollo tecnológico e industrial relacionadas con organismos modificados genéticamente. Las Directivas son de aplicación para todos los Estados de la Unión Europea, estando prevista su aplicación para el 23 de octubre de 1991. Sin embargo, los Estados siguieron esta recomendación de modo muy diverso en cuanto al cumplimiento temporal y con variada intensidad y repercusión política y social. España fue de los últimos países en incorporar estas Directivas en su acervo legislativo (en 1994), mientras que el debate parlamentario fue de escasa relevancia, situación que contrasta con la de otros países como ha sido el caso de Holanda, Alemania, Francia, Dinamarca. Un proyecto europeo dirigido por Les Levidow de la Open University (Reino Unido) ha estudiado las trayectorias seguidas en la incorporación de estas Directivas en un análisis comparado, cuyos resultados han sido publicados en un número especial de la revista *Science and Public Policy* (vol 23, nº 3, 1993).

A continuación se ofrece un esquema de los principales aspectos contemplados en esas dos Directivas.

La Directiva 90/219 - Uso confinado de micro-organismos modificados genéticamente.

- Base legal en el artículo 130 del Tratado de Roma. Ese artículo se refiere al medio ambiente.
- Primer Artículo - Recoge un marco armonizado y armonizador para todo tipo de uso y escala de los microorganismos modificados genéticamente (GMMOs de su nombre

inglés). Aunque parece restringirse a los microorganismos, la realidad no es tan acotada.

- Segundo Artículo - Este artículo incorpora entre los microorganismos a los cultivos celulares vegetales y animales. Define una lista mínima de técnicas que se consideran comprendidas en el término -modificación genética- técnicas de DNA recombinante; introducción de DNA por microinyección, fusión celular/ hibridación. Los Estados Miembros pueden incluir técnicas adicionales si así lo estiman oportuno. Otras técnicas -procesos más o menos naturales, como poliploidía, conjugación, transducción, transformación- se consideran modificación genética cuando se recurre a técnicas de DNA recombinante o a GMMOs existentes ya.
- Tercer artículo - Excluye la mutagénesis, el trabajo con hibridomas de células somáticas de origen animal, la fusión celular de ciertas células vegetales y la auto-clonación (reproducción) de microorganismos de bajo riesgo. Los Estados Miembros pueden ir más lejos que la Directiva en los aspectos de inclusión o exclusión de las técnicas, si así lo estiman oportuno.
- El concepto de contención supone que existan barreras físicas.
- Los GMMOs se separan en dos tipos: A y B, según el objeto de su experimentación y según la escala. Los GMMOs se clasifican en dos grupos: I, de bajo riesgo, según los criterios del informe OCDE mencionado anteriormente, y II, de elevado riesgo.
- Los Estados Miembros deben designar una autoridad o las autoridades competentes que establecerán mecanismos de consulta pública, asegurarán que existen planes de emergencia y que deberán advertir a los otros Estados Miembros de cualquier accidente; pondrán en marcha un esquema de inspectores y deberán enviar un informe resumen a la Comisión cada tres años. Los principios de seguridad para trabajar con GMMOs del Grupo I o II fueron recogidos del informe antes citado de la OCDE.
- Los temas relativos a la confidencialidad son muy importantes; hay información que no puede ser confidencial.
- La Directiva 219 establece un comité de representantes de los Estados Miembros que asiste a la Comisión y puede modificar, por mayoría cualificada, los Anexos de la Directiva (II a V) que se refieren a la "adaptación al proceso técnico".

Directiva 90/220. -Liberación deliberada de organismos genéticamente modificados.

- Se orienta a fijar las reglas para el funcionamiento del mercado interno en la comercialización de los productos resultantes de estas aplicaciones.
- Persigue un marco regulador armónico (armonizado en el léxico comunitario) para la utilización en medios libres (aire libre) de organismos modificados genéticamente (GMOs del nombre en inglés) con fines experimentales y comerciales, procurando proteger la salud humana y el medio ambiente.
- La definición de GMO es en esta Directiva 220 más amplia que en la 219. Se trata de cualquier entidad biológica capaz de replicarse o de transferir material genético.
- El concepto de liberación deliberada, con confusos matices, se ha clarificado con la definición de "introducción intencionada".
- La posible indefinición en el tema de los residuos industriales de GMMOs ha sido corregida al incluir estos residuos en el tipo B de actividades de organismos confinados (Directiva 219).
- La Directiva separa los usos de GMOs según sean para investigación o desarrollo o para comercialización. Se trata de un terreno en el que la discusión es continua.
- La Directiva 220 es más restrictiva que la 219 en lo que concierne a las técnicas o los productos.
- El sistema de aprobación es complejo. Los proponentes de un ensayo deben suministrar un dossier técnico complejo, con una evaluación del riesgo y con los procedimientos de notificación.

- El país donde se propone el ensayo tiene 90 días para responder y el plazo se detiene siempre que se solicita información adicional o que se propone consulta pública. El Estado Miembro que recibe la propuesta debe remitir, a su vez, un resumen a la Comisión Europea para que lo haga llegar a los otros Estados Miembros. Cada uno de éstos tiene, a su vez, 30 días para presentar observaciones o para pedir más información. No hay derecho a veto por parte de los Estados Miembros; la decisión es una decisión nacional.
- Se ha planteado que, una vez exista conocimiento y experiencia suficiente sobre un determinado GMO, se puede utilizar un "procedimiento rápido", como se ha hecho en el Reino Unido.
- La autorización de productos está contemplada en un sistema de amplia base comunitaria. Concierne a los productos que derivan o contienen GMOs y abarca la protección de los riesgos potenciales para seres humanos, plantas, animales o el ambiente en general. Para ser autorizados, estos productos deben haber sido aprobados para ensayo o haber sido sometidos a una evaluación de los riesgos, de acuerdo con el protocolo señalado en la Directiva 220. La Directiva contempla una disposición que abre la oportunidad de sustituir el proceso de aprobación de productos a medida que se desarrolle la pertinente legislación comunitaria. La primera aproximación regulatoria de este tipo se aplicó a los pesticidas (adoptada en 1991) con un periodo de dos años para la realización de evaluación del riesgo de acuerdo con un esquema similar al que se contempla en la Directiva 220.
- Para comercializar un producto, el productor o importador debe dirigirse a una autoridad competente -la autoridad cancerbera- y que corresponde a la del primer Estado Miembro en que se pretende esa comercialización. La notificación debe contener toda la información requerida en los Anexos II y III y debe suministrar los datos de apoyo.
- La autoridad tiene 90 días para enviar el dossier a la Comisión Europea con su "opinión favorable" o para rechazar el propuesta por insuficiente. Si la propuesta goza de opinión favorable, la Comisión envía el resumen a los otros Estados Miembros que disponen de otros 60 días para plantear objeciones.
- Los Estados Miembros, a través de su Comité, han acordado un formato común par la notificación y este Comité resuelve por mayoría cualificada los conflictos.
- Los Estados Miembros poseen la capacidad de restringir o prohibir el uso o la venta de un producto en sus respectivos territorios, si existen razones que lo justifiquen en relación con los eventuales riesgos para la salud humana o el medio ambiente.
- Se desarrollan disposiciones relativas a la confidencialidad y a la adaptación de los Anexos al progreso técnico.
- La lista de los productos aprobados se publicará regularmente -3 a 6 meses- en el Boletín de las Comunidades Europeas.

Como ya se ha comentado, el impacto y el desarrollo de esta Directiva ha sido diferente en los distintos Estados Miembros, dependiendo de la tradición y cultura respecto a estas cuestiones. En los países con acervo legislativo propio (Reino Unido, Alemania, Dinamarca y Holanda), las Directivas han incidido en ofrecer un mecanismo de aprobación nuevo y de carácter pan-europeo. En los otros Estados, han servido para establecer un nuevo marco estatutario y para en los casos extremos -Italia, España, Portugal, Luxemburgo, y en menor grado Irlanda y Grecia- incorporarse a esta corriente cultural y política.

En 1990, Italia y España confesaban , en un cuestionario promovido por la OCDE, no tener directrices nacionales ni regulación específica; Portugal y Luxemburgo ni siquiera respondían al cuestionario. Irlanda disponía, por su parte, en 1987 de un comité para las experiencias con DNA recombinante, lo que le confería una cierta ventaja dentro del grupo de los países menos desarrollados de la Unión Europea.

1.1.3 Organismos Transgénicos y Bioseguridad

A partir de lo que se ha venido desgranando respecto a la legislación, es evidente que la gran preocupación es el control de la transferencia de genes y sus implicaciones sanitarias y ambientales en el caso de los organismos modificados genéticamente.

El problema es de una considerable complejidad, tanto desde el punto de vista cognitivo como desde el plano de la argumentación filosófica y ética. En efecto, la gran argumentación crítica frente a las repercusiones éticas de los usos de la ingeniería genética se centra en la confrontación de lo que es natural frente a lo no-natural. Sin embargo, en el caso de la transferencia de genes entre organismos, este argumento no parece gozar de gran valor, puesto que tal transferencia de genes es un fenómeno natural, la llamada "transferencia horizontal" para diferenciarla de la "transferencia vertical" que tiene lugar entre los padres y la descendencia. Por lo tanto, y paradójicamente, es sobre la base de un fenómeno natural que surgen las preocupaciones que suscitan los organismos genéticamente modificados respecto a la seguridad ambiental y sus posibles alteraciones.

El fenómeno de la transferencia horizontal de genes es un hecho bien conocido por los científicos que desde los años treinta han trabajado en la genética microbiana. Muchos organismos procarióticos son capaces de intercambiar el DNA con cierta facilidad entre individuos de diferentes especies, o son incluso capaces de incorporar DNA del medio exterior por el proceso de transformación que se conoce desde hace casi setenta años. En el caso de los organismos eucarióticos la información sobre la transferencia horizontal de genes, es mucho más limitada. Los casos más conocidos son: la transferencia de DNA desde el organismo productor de agallas, *Agrobacterium tumefaciens*, en las plantas y la integración del DNA de ciertos virus en los genomas eucarióticos.

Problemas y controversias

Las controversias que se han planteado con el uso creciente y la eventual comercialización de los organismos genéticamente modificados (GMOs), se concentran en dos problemas principales.

1. La producción de GMOs entraña la transferencia intencionada de material genético desde un organismo a otro. También se añade el problema del DNA que se utiliza como marcador o como vector para detectar o llevar a cabo la transferencia. La pregunta esencial concierne a la estabilidad del DNA, que cifra o codifica el nuevo carácter, y los posibles efectos (pleiotropía, relaciones de posición) que el material transferido puede causar en el genoma del organismo huésped o receptor. Los temores derivan de la posibilidad de que los caracteres sean inestables y que den lugar a efectos impredecibles de carácter pleiotrópico y respecto a su localización en el genoma, lo que generaría ventajas selectivas de los organismos diseminados intencionadamente o de modo inadvertido en nuestro ecosistema, lo que llevaría a cambios de naturaleza y consecuencias impredecibles.
2. Los organismos modificados genéticamente pueden escaparse del control humano, cuando se utilizan en laboratorios o fábricas, así como en el medio ambiente cuando se liberan de un modo intencionado. Estos organismos podrían reproducirse de un modo descontrolado o transferir la información nueva de que son portadores a la misma especie o especies relacionadas. No sería preciso que hubiera un efecto global de alteración del medio, sino que el efecto nocivo podía ser el de caracteres específicos que entrañan posibles riesgos para el medio o para la salud de seres humanos o de animales.

La investigación para afrontar estos problemas

La investigación sobre estos puntos cruciales no es sencilla ya que, entre otras cosas, debe intentar ofrecer respuestas a las siguientes cuestiones (Wöhrmann *et al*, 1996).

1. ¿Qué fenómeno puede tener lugar? ¿Son los genes estables? ¿Se pueden producir efectos pleiotrópicos? ¿Es plausible que exista transferencia horizontal de genes? ¿Son los organismos transgénicos susceptibles de pervivir al margen de las condiciones específicas para que fueron diseñadas?
2. ¿Cual es la probabilidad de que estos fenómenos tengan lugar?
3. ¿Cuáles son las consecuencias para los organismos relacionados, para el medio ambiente o para los seres humanos?

Aproximarse experimentalmente a la resolución de estas cuestiones no es sencillo. Las dificultades son muchas y variadas. Desde mi punto de vista, cabe mencionar las siguientes: i) dificultad para definir el entorno en que realizar el experimento -el nivel de laboratorio es insuficiente-, ii) la multiplicidad de variables; iii) la propia fragilidad de los organismos modificados genéticamente en el momento en que se modifiquen las condiciones del medio para el que han sido diseñados; iv) la escasa atracción de estos problemas para la comunidad científica, por la complejidad de las cuestiones y por la dificultad de obtener resultados espectaculares -los buenos resultados son los negativos; v) la multidisciplinariedad requerida para abordar la resolución de estas cuestiones, con lo que se hace precisa la colaboración de científicos de diferentes especialidades que muchas veces están en conflicto epistémico y, en cualquier caso, compiten por recursos escasos.

A pesar de estas dificultades, se empieza a producir conocimiento en este macrodominio de la investigación. Dos recientes libros a los que he tenido acceso (*Transgenic Organisms: Biological and Social Implications* (Tomiuk, J., Wöhrmann, K. y Sentker, A., eds, 1996) y *Transgenic Organisms and Biosafety* (Schmidt, E. R. y Hankeln, Th. (eds, 1996) recogen interesante información sobre el progreso científico en este terreno. Por otra parte, Tomiuk y Wöhrmann habían recogido en otra publicación anterior (*Transgenic Organisms: Risk Assessment of Deliberate Release* (Wöhrmann y Tomiuk (eds), 1993) los resultados de un primer congreso sobre estas cuestiones. Las disciplinas científicas que se han implicado en los intentos de contestar a las preguntas anteriormente formuladas son, principalmente, la genética clásica y molecular, la genética de poblaciones y la genética evolutiva. Como punto importante para comprender las bases científicas de estos procesos, se debe mencionar la importancia de los transposones -los elementos descubiertos por Barbara Mc Clintock en el maíz e identificados posteriormente en todo tipo de organismos-, que se comportan como DNA ajeno en los genomas del huésped y provocan efectos variados que van desde las mutaciones puntuales hasta la reorganización cromosómica. Son responsables de la creación de variabilidad genética e influyen por lo tanto, en la evolución de los organismos en que asientan y se comportan de modo análogo a como lo hace el "DNA extraño" incorporado por ingeniería genética. Es este un nuevo ejemplo de la dificultad, que existe en estas cuestiones, para efectuar la distinción entre lo natural y lo no natural.

Otra importante constatación, derivada de la reciente acumulación de evidencia experimental, es la existencia de un grado de "transferencia génica horizontal" entre los microorganismos. Una prueba de ello, y una feliz coincidencia para mí como autor de esta revisión, radica en el hecho de que el número de marzo de 1998 de la revista *Investigación y Ciencia* incluya un artículo sobre este punto. El artículo de R. V. Miller -jefe del Departamento de microbiología y genética molecular de la Universidad estatal de Oklahoma- pasa revista a los problemas y resultados que se están obteniendo en el curso de las investigaciones sobre la transferencia génica horizontal en la naturaleza. Señala el autor que su interés por el tema data de 1976, pero que hasta 1985 tuvo incontables

dificultades para encontrar financiación para sus proyectos. Los tres pasos biológicos, los procesos de conjugación -descubiertos por Lederberg y Tatum-; la transformación -a través de DNA asociado con componentes del suelo-; y la transducción -con la identificación de bacteriófagos en concentraciones elevadas en hábitats insospechados- intervienen en la naturaleza para el intercambio de material genético entre bacterias. La conclusión de Miller es optimista, aunque no excluye la conveniencia de la precaución. Señala, en efecto, que "los estudios realizados con bacterias en su medio natural permiten asegurar que no hay peligro en soltar organismos sometidos a manipulación genética. Lo importante es saber si cumplirán la misión asignada. En cualquier caso, no sobra la prudencia. Cuanto mejor conozcamos la transferencia génica horizontal, más información tendrán los biotecnólogos ambientales -y todos los biotecnólogos añadiría yo- para reducir los riesgos al mínimo".

La Comisión Europea adquirió conciencia de la relevancia de los temas relacionados con la bioseguridad y promovió líneas de fomento de este tipo de iniciativas en los programas destinados a la promoción de la biotecnología (Programa BRIDGE y Programa BIOTECH o BIOTECHNOLOGY), aunque esta línea no ha ido creciendo o aumentando, quizá por la resistencia de la comunidad científica, su importancia. Cuando formé parte del panel que llevó a cabo la evaluación "ex-post" del Programa BRIDGE (1990-1994) pude constatar esa resistencia de la comunidad científica, particularmente de las élites que trabajan en biología molecular -para aceptar o admitir la promoción de esta línea de investigación, sobre la base de su limitada contribución a la excelencia en la producción de conocimiento.

La repercusión científica de la transgenesis en el contexto socio-político

La discusión sobre los beneficios y riesgos de la tecnología genética sigue estando en una encrucijada. Los seguidores y los detractores muestran posiciones irreconciliables tras 20 años de debates. Ello parece corresponder a lo que he llamado la contraposición de racionalidades opuestas o divergentes (Muñoz, 1997b, 1998a). Los oponentes repiten argumentos utilizados continuamente, aunque su veracidad sea reducida, incluso inexistente o no-probada.

Los argumentos actuales, en el plano científico, se pueden resumir, siguiendo a Wöhrmann *et al* (1996), del siguiente modo:

- La transferencia de genes, de acuerdo con las técnicas moleculares, es un instrumento único para transferir genes de modo específico, aunque no se puede determinar la posición que adoptan los genes en los genomas huésped.
- Estas técnicas permiten transferir genes entre especies diferentes, lo que determina la creación de combinaciones de caracteres no-existentes previamente en la naturaleza. No existen evidencias convincentes para estar seguros de la inocuidad o inocencia de esas nuevas combinaciones.
- Se puede considerar que si se conoce la función o efecto del gen que se transfiere no es lógico esperar efectos secundarios no deseados. Parece que los mecanismos genéticos implicados en la obtención del organismos (plantas específicamente) transgénicos son más comprensibles e informativos que los métodos clásicos de selección. Este argumento que está justificado y es necesario, no es, sin embargo, suficiente. Parece, por lo tanto, lógico aumentar el acervo de conocimiento respecto a la organización de los genomas.
- Los elementos de transposición ("transposones") son un modelo de interés para comprender el funcionamiento de los organismos transgénicos, pero esta comprensión requiere mucha más información e investigación sobre los mecanismos naturales.
- La cuestión de la pleiotropía permanece abierta. Aunque no se han detectado ejemplos bien definidos de efectos pleiotrópicos en organismos transgénicos, no se

puede excluir la posibilidad de que se produzcan.

- La transferencia génica horizontal, y el flujo de genes entre especies, es una realidad. Esta constatación tiene un doble flujo argumental: sirve para defender la inocuidad del proceso, pero también puede ser responsable de la expansión incontrolada de una propiedad o rasgo.
- Es oportuno desarrollar modelos que permitan, sobre la base de la genética de poblaciones, predecir o estimar la expansión de una nueva especie en un nuevo entorno.
- Los nuevos genes suponen un "coste" fisiológico para los organismos que los incorporan.
- Los genes incorporados en un organismo producen los mismos efectos que las mutaciones espontáneas, la suerte de las mutaciones es impredecible.
- El conocimiento de los procesos de hibridación suministra bases para calcular la probabilidad del riesgo, pero no ofrece soporte suficiente para predecir la formación de híbridos y su posible establecimiento en la naturaleza.
- Lo más importante para valorar el riesgo es el carácter o rasgo modificado. Hay un amplio consenso científico respecto a que el riesgo es función de los caracteres del nuevo organismo y no de la técnica utilizada para producir la modificación genética. No parece correcto utilizar el argumento de que la ingeniería genética de plantas es una simple extensión de los métodos convencionales de selección de cultivos. Existe, al menos, una diferencia cuantitativa, por lo que la nueva biotecnología puede producir resultados distintos a los procesos de selección, sobre todo si los caracteres incorporados son muy adaptativos para las plantas.
- Los procesos de incorporación de genes en un hábitat determinado son procesos de largo alcance en términos evolutivos. Los experimentos en períodos cortos de tiempo no son probablemente adecuados para detectar o predecir la capacidad de expansión de una información genética determinada.

Algunas consideraciones a modo de conclusión y propuesta

Tras veinte años de discusión sobre los "pros" y "contras" de la biotecnología, basada en la ingeniería genética, las posiciones de los opositores y los defensores no cambian sustantivamente. El consenso solo parece posible si se inicia un proceso de discusión continua entre expertos de diferentes cultivos disciplinares o temáticos. Los errores cometidos por los "expertos", cuando han opinado desde una posición cínica y unidireccional son una muestra de la limitada capacidad que se posee para comprender procesos biológicos complejos e interactivos, en los que hay que tener en cuenta los acontecimientos evolutivos y las leyes de la ecología.

Parece oportuno un intercambio continuo de opiniones y argumentos entre científicos de diferente área de conocimiento.

Debe producirse un extensivo debate con los ciudadanos y sus representantes, suministrando corrientes de información y canales para la discusión.

A partir de la integración de estos procesos de monitorización, seguimiento e información se podrá crear una plataforma para que las decisiones políticas sean tomadas adecuadamente y para que sean los políticos, y no los científicos, quienes las tomen.

Esta declaración o propuesta, aunque sea la más apropiada en términos socio-políticos, no está enmarcada por la esperanza, a la vista de la contumacia en los errores de las decisiones políticas, que son, generalmente, muy difíciles de sustraer a los intereses creados.

2. Biodiversidad: conceptos y acciones

El término biodiversidad ha ganado una extraordinaria popularidad en los últimos años, recogiendo las crecientes preocupaciones e intereses de los ciudadanos del mundo desarrollado por los temas medioambientales. Se ha convertido en el banderín de enganche de muchos movimientos ecologistas y, consiguientemente, en arma arrojada frente a los "excesos" del desarrollo científico-técnico. Existe, por lo tanto, una coincidencia, siquiera sea parcial, entre ciertas posiciones "anti-tecnológicas" y la defensa de la biodiversidad. Con esta declaración, creo que se pone de manifiesto la complejidad del tema y la dificultad que existe para abordar, con una cierta serenidad o racionalidad, la discusión acerca de lo que supone la biodiversidad en relación con el uso de la biotecnología. Nos movemos, una vez más, en el terreno de las paradojas, las ambigüedades, y las ambivalencias.

En cualquier caso, en la línea del discurso que guía esta presentación, parece evidente que la biodiversidad es otro vector o componente de especial relevancia para que el desarrollo de la biotecnología sea posible en el marco de una razonable aceptación social.

Como ya se señalaba en el caso de la bioseguridad, un tratamiento comprensivo y comprensible no es tarea fácil. Trataré en lo que sigue de ofrecer un esquema sobre lo que se entiende por biodiversidad en varios contextos: científico, socio-económico y socio-político, desgranando algunos argumentos que permitan iniciar una revisión sobre este tema, con la esperanza de que ello constituya el principio de un debate y, no obviamente, el cierre del mismo, ya que este objetivo es inalcanzable por mis propias limitaciones y por las limitaciones, temporales y espaciales, del presente ejercicio.

2.1. Definición de biodiversidad

Como Kevin Gaston señala en el capítulo introductorio del libro *Biodiversity: A Biology of Numbers and Difference*, del que es editor (Gaston, 1996), la biodiversidad es algo más que un término y un recurso. Es, al mismo tiempo, tema y fenómeno.

El mismo autor establece que las respuestas o percepciones respecto a la biodiversidad distan mucho de ser homogéneas. Ello es así por dos razones, en primer lugar, porque nos enfrentamos a un término más o menos acuñado en el que las afinidades de los que lo utilizan son parciales. En segundo lugar, porque la propia complejidad de lo que la biodiversidad es, ha permitido que se desarrollen puntos de vista en contextos diferentes.

En efecto, la biodiversidad puede ser definida o considerada como concepto, como una entidad susceptible de ser medida o como un producto de construcción social y política.

2.1.1 Biodiversidad como concepto

Se ha venido proponiendo en el último decenio, una serie de elaboraciones alrededor del tema central que es la "variedad de la vida" (Gaston cita un serie de referencias respecto al origen del término).

La definición que parece gozar de mayor consenso es la producida por la, en un tiempo, reputada OTA (Oficina del Congreso de los Estados Unidos para la Evaluación Tecnológica), hoy desaparecida. Una versión en castellano de esa definición rezaría así: "La diversidad biológica se refiere a la variedad y variabilidad que existen entre los seres vivos y los complejos ecológicos en los que se desarrollan. La diversidad se puede definir como el número de entes o cosas diferentes respecto a sus frecuencias relativas. En el caso de la diversidad biológica, tales entes o cosas están organizados en muchos niveles,

desde los ecosistemas completos a las estructuras químicas que constituyen la base molecular de la herencia. El término engloba, por lo tanto, diferentes ecosistemas, especies, genes, así como su relativa abundancia (OTA, 1987).

Durante los últimos años se ha formulado toda una serie de definiciones (véase Gaston (1996) para un visión completa) que presentan el rasgo común de circular alrededor de la idea de la "variedad de la vida", sobre el que se aplican esquemas diversos. En el contexto más convencional se establecen tres divisiones: diversidad genética, diversidad taxonómica y diversidad en los ecosistemas. Desde el punto de vista conservacionista, Soulé (1991) ha distinguido cinco divisiones: genes; poblaciones; especies; conjuntos (comunidades y asociaciones); y sistemas completos o ecosistemas. En el plano más funcional, las clasificaciones distinguen tres propiedades o niveles: la composición - identidad y variedad de elementos-; la estructura (organización física o patrones de organización de los elementos); y la funcionalidad -procesos ecológicos y evolucionistas. Cualquiera que sea el esquema, parece predominar la perspectiva jerárquica, mientras que, bajo el prisma cognitivo, se percibe una clara orientación multidisciplinar, un argumento más en favor de la complejidad de la cuestión y de las dificultades que presenta para la agenda de la investigación, todavía dominada por la visión disciplinar.

2.2 Biodiversidad como entidad sujeta a medición

El deseo de aproximarse cuantitativamente a la biodiversidad es una constante en la producción científica de los últimos quince años. Las limitaciones que existen en esta orientación son notables, Norton (1994), señalaba, por ejemplo, que "los científicos pueden plantearse un gran número de posibles *medidas de la diversidad*, pero estas medidas no se pueden agregar en una *única* medida de la diversidad del sistema".

Parece evidente que la medida de la diversidad es un proceso complejo; los dos métodos más directos son los que cuentan entidades o los que intentan integrar además elementos de sus diferencias. Los trabajos realizados en esta dirección datan de los sesenta y setenta y se basan en la exploración de la diversidad ecológica con el soporte de la teoría de la información. Estas medidas o índices han perdido reconocimiento en virtud de las dificultades que ofrece su interpretación.

2.2.1 El valor económico de la biodiversidad

David Pearce y Dominic Moran han publicado un interesante libro (Earthscan, 1994 para la World Conservation Union) en el que intentan una aproximación a la evaluación económica desde el punto de vista de la conservación, es decir el tipo de valores económicos que se generan a partir de la actividad conservacionista, pero que no se recoge de modo claro por el mercado. Como Pearce y Moran apuntan, el resultado de este "fallo" conduce a distorsiones, a un campo de juego inclinado en contra de la conservación y a favor de las actividades económicas que destruyen recursos biológicos.

La declaración de principios de estos autores es la siguiente:

- las fuerzas económicas conducen a la extinción de los recursos biológicos en el mundo y a la diversidad biológica;

Sin embargo,

- la biodiversidad tiene valor económico. Si las economías del mundo respondieran a una organización racional, cabría pensar que la biodiversidad debe tener un valor inferior a las actividades económicas que generan su pérdida o destrucción;

- sabemos, al mismo tiempo, que muchos recursos biológicos poseen un valor económico significativo. Sabemos también que muchas de las actividades destructivas tienen por sí mismas escaso valor económico;

Por consiguiente;

- algo no funciona en el sistema presente de toma de decisiones en materia económica - por alguna razón, estas decisiones no son capaces de captar valores económicos que puedan ser identificados;
- estos "fallos económicos" están en el corazón de cualquier explicación de la pérdida de diversidad biológica. Si, los autores admiten, podemos atacarlas, hay posibilidad de reducir la pérdida de biodiversidad.

Los autores, que poseen una amplia trayectoria analítica en este campo -casi una decena de libros- abordan el objetivo ofreciendo a lo largo de nueve capítulos un discurso estructurado que parte de la definición de la diversidad biológica y su medida, siguiendo el esquema conceptual convencional referido anteriormente, para empezar a considerar los problemas que plantea la estimación de la pérdida de la biodiversidad, con la búsqueda de indicadores satisfactorios.

Entran a continuación en el debate económico, tratando de identificar las razones causales de la erosión de la biodiversidad, que, en primera instancia, parece residir en la disparidad entre los costes privados y sociales y los beneficios de la conservación y utilización de la biodiversidad. Los costes y beneficios privados se focalizan en el usuario inmediato del medio natural, mientras que los beneficios y costes sociales se refieren a pérdidas y ganancias de la sociedad en su conjunto. Estos dos tipos de intereses frecuentemente no coinciden, -lo que es bueno para mí como individuo, puede suponer costes para la sociedad- las llamadas "externalidades".

En la búsqueda causal, los autores distinguen entre causas próximas -conversión de la tierra y bosques para la construcción y usos agrícolas, contaminación- y causas fundamentales o básicas- radicadas en factores económicos, institucionales y sociales.

Tras sentar los principios sobre los que se pueden atribuir valores económicos a las preferencias por el cambio ambiental, los autores abordan el desarrollo de metodologías para la valoración económica, poniendo de manifiesto una nueva paradoja: las cuestiones que afectan a la destrucción o alteración de la diversidad biológica tienen que ver con el mundo en desarrollo, mientras que las aproximaciones teóricas y prácticas a la valoración económica se han desarrollado y puesto en práctica en el mundo desarrollado. Una primera cuestión reside en la posibilidad de aplicación de estas metodologías en contextos tan dispares. Algunos ejemplos particularmente relevantes en el contexto general, y muy especialmente para nuestro caso específico que busca explorar la relación entre biodiversidad y biotecnología, como es el caso de las plantas medicinales, de los medicamentos de origen vegetal, o el valor de los recursos genéticos para la agricultura, son muestras de la valoración de usos o aplicaciones sostenibles de un hábitat determinado. Ello permite avanzar que hay argumentos para establecer valores para la diversidad biológica de acuerdo con el enfoque del mercado.

Los métodos aplicados se han orientado a medir valores directos e indirectos. Entre los primeros cabe incluir aquellos que pretenden valorar el eco-turismo, la explotación del material genético para la obtención de medicamentos o para la agricultura y agroalimentación, la aplicación al consumo de productos forestales no-madereros, la silvicultura sostenible, entre otros. Los valores indirectos son mucho más volátiles: el calentamiento global, la incorporación de CO₂, son procesos que pueden ir alcanzando el

carácter de valores globales con los que cuantificar los rendimientos de los bosques tropicales, pero cuya relevancia es todavía un tema de discusión por las dificultades metodológicas y por las repercusiones socio-económicas.

Parece claro que la aproximación económica para la inversión en áreas protegidas requiere una comparación entre la "tasa de retorno" que lleva aparejada la protección y la "tasa de retorno" del uso alternativo del área o recurso natural.

Como conclusión, Pierce y Moran, estiman que para valorar la inversión en biodiversidad es preciso tener muy en cuenta las condiciones de localización y los condicionantes institucionales: importancia del clima, condiciones del suelo, topografía, infraestructura, proximidad al mercado. Reconocen las distorsiones fiscales, legales y de mercado que inciden negativamente en la aproximación conservacionista o de desarrollo sostenible, pero, al mismo tiempo, presentan datos y argumentos que ponen de relieve la importancia económica de la biodiversidad. Es importante recalcar que la mayoría de estos usos rentables de la biodiversidad guardan una estrecha relación con la biotecnología.

2.3 Biodiversidad como construcción socio-política

Es en el contexto socio-político, donde el término biodiversidad ha alcanzado mayor consistencia en relación con las preocupaciones relativas a la pérdida o degradación del medio natural y de sus componentes. El término ha alcanzado unas cotas considerable de aceptación en medios diversos: científicos, mediáticos, sociales en sentido amplio.

En el contexto socio-político, se admite, en general, que la biodiversidad es un bien por sí misma y que su pérdida o deterioro es malo. En los tiempos más recientes, se ha tendido a considerar que biodiversidad es sinónimo de "conservación de la naturaleza", una orientación que está presente en la discusión anterior sobre el valor económico de la biodiversidad. Todo ello contribuye a abundar en la idea de que la biodiversidad no es un concepto científico neutral, sino que se percibe como valor.

De ahí que sea cada vez más necesario disponer y desarrollar políticas y regulaciones que contemplen el problema y sus eventuales soluciones.

En mi conocimiento, es quizá Timothy Swanson uno de los autores más relevantes para la comprensión de las cuestiones relativas a la biodiversidad desde un punto de vista global. Sus libros *Global Action for Biodiversity* (1997) y *The International Regulation of Extinction* (1994) son una muestra que apoya este aserto. En este segundo libro, Swanson desarrolla un marco con el fin de ofrecer una explicación autoalimentada al problema de la biodiversidad; intenta que la explicación sea el puente para su solución. Pero, como el propio autor señala, no intenta ofrecer soluciones a todos los problemas, sino al problema de la conversión global de la biodiversidad; en otras palabras, a la situación de convergencia hacia una "biodiversidad" reducida, hacia una reducida lista de especies especializadas, como reflejo del conflicto entre los intereses locales y los intereses globales.

Asumiendo que todas las sociedades humanas tienen los mismos derechos para desarrollarse -el debate entre mundo desarrollado y mundo en desarrollo-, Swanson defiende que la única solución radica en la creación de instituciones internacionales capaces de canalizar los valores de los diversos recursos hacia los estados propietarios o interesados:

El libro contempla, por un lado, las políticas existentes en el plano internacional en relación con la idea de la regulación de la extinción y, por otro lado, intenta ofrecer una guía para el

desarrollo de protocolos en conexión con el Convenio Internacional sobre Biodiversidad - uno de los resultados más relevantes de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992. Este Convenio fue adoptado a finales de 1993 y ha sido ratificado por unos 160 países. La puesta en práctica del Convenio no es sencilla y la Conferencia de las Partes se ha reunido en varias ocasiones para llevar a cabo ese proceso.

En el Capítulo 16, titulado "una gestión de la biotecnología racional para el medio ambiente" se reconoce que para que la sociedad en general pueda obtener los máximos beneficios de la biotecnología es preciso que sus desarrollos y aplicaciones se lleven a cabo cuidadosamente (Muñoz, 1995). El Convenio sobre la Diversidad Biológica recoge los temas relativos a la bioseguridad y la biotecnología en los artículos 8 y 19, dedicado de modo específico al empleo de la biotecnología y los usos de los organismos modificados genéticamente. Estos temas han sido tratados en reuniones de Grupos de Expertos, una de cuyas reuniones celebrada en Madrid en julio de 1995 tuve el honor de presidir.

2.3.1 Políticas existentes de carácter internacional

Swanson pasa revista a los marcos políticos y regulatorios existentes. Destacan, entre ellos, los derechos de información y de propiedad intelectual, los programas de seguros y de seguros de las cosechas, los regímenes comerciales sobre Recursos y Vida Salvaje. Independientemente del análisis que lleva a cabo el citado autor y en el que no entro, me parece oportuno indicar que todos estos sistemas guardan una estrecha relación con la biotecnología.

i) Los temas relativos a la propiedad intelectual y a la protección de la información se encuentran en el corazón del debate socio-económico. Tras una primera posición de resistencia a proteger los descubrimientos derivados o relacionados con las propiedades de recursos naturales, la tendencia se está invirtiendo como consecuencia de la poderosa lógica comercial que se esconde tras el creciente desarrollo de la biotecnología y su enorme potencial. Desde las posiciones marcadas por el Artículo 53 (b) del Convenio Europeo sobre Patentes que establece que no se admite la protección para "variedades de plantas o animales o para procesos biológicos esenciales para la producción de plantas o animales" y en los Estados Unidos por la memorable decisión de la Corte Suprema en el proceso de *Diamond versus Chakrabarty*, en la que se declaraba que la base para otorgar una patente a un organismo vivo radicaba en que: "el patentador ha producido a una bacteria nueva con características profundamente diferentes de las que existen en la naturaleza" ("*His discovery is not nature's handiwork, but his own; accordingly, it is patentable subject matter under patent law*"), se ha avanzado mucho. En recientes revisiones, el Prof. Strauss (véase, por ejemplo, su contribución al volumen 12 de la serie sobre Biotechnology, editada por VCH) revisa la práctica de las Oficinas de Patentes de Estados Unidos y Europea (US Patent Office and Trademark y European Patent Office, respectivamente). Ambas instituciones han otorgado patentes a todo un conjunto de procesos biotecnológicos y materiales biológicos -genes, hibridomas, líneas celulares-, y en el caso norteamericano a organismos, como ejemplifica el caso del onco-ratón.

En ese mismo artículo, Strauss examina la relación entre propiedad intelectual y biodiversidad para concluir que la revisión de ideas preestablecidas aparece como una necesidad ineludible para acomodarse al paso de progreso.

ii) La protección por medio de seguros es un importante elemento del bienestar social. La diversidad biológica sirve para dotar de seguridad la productividad de las cosechas. Sin embargo, las políticas en este campo se han orientado a encontrar alternativas a los sistemas de seguros basados en la biodiversidad -a la vista de la pérdida de interés de los países que son generadores de o propietarios de diversidad, ya que no se benefician de

retornos adecuados por los servicios que prestan en esa orientación. La nueva orientación de los seguros se encamina a la protección a través de un sistema de riesgos agrupados por medio de amplios grupos (consorcios) que funcionan por las reglas del mercado.

Sin embargo, los riesgos más frecuentes de las cosechas son riesgos de correlación - cuando ocurre algo afecta a todos. Este es el caso de los riesgos ambientales. Cuando el medio cambia -climáticamente, biológicamente...-, se corre el riesgo de que las especies tradicionalmente utilizadas no se adapten al nuevo entorno. Los riesgos ambientales no son objeto de un sistema de seguros de este tipo por su amplitud -carácter general- y por su estrecha relación con la propia naturaleza. La limitación para operar a través del mercado, reclama que los gobiernos subsidien y favorezcan políticas de seguros basadas en la diversidad.

iii) La competencia que sobre la conservación de la naturaleza ejerce la subvención de los productos agrícolas, conduce a la sobreexplotación. La legislación existente respecto al declive de las especies no afronta las causas reales de los peligros de extinción sino que se centra en las consecuencias. Por ello Swanson reclama una modificación esencial en las políticas regulatorias que atañen a la biodiversidad.

iv) Este giro en la regulación internacional debe orientarse a una incentivación de los países en desarrollo, que poseen cantidades significativas de recursos naturales diversos, para que contemplen vías alternativas en su desarrollo que no supongan la transformación de esos recursos.

Esto implica la puesta en práctica de políticas que incrementen los beneficios que esos países reciben cuando invierten en los recursos de la diversidad. Hay tres posibles métodos, según Swanson, para afrontar tales políticas. En primer lugar, que la comunidad internacional otorgue subsidios directos a los estados que conservan los recursos por utilizarlos con baja intensidad; el acuerdo que podría operar sería un acuerdo de franquicias. En segundo lugar, la comunidad internacional puede intervenir para regular el comercio entre bienes tangibles que fluyen entre hábitats distintos con objeto de maximizar las rentas; ello puede verificarse por medio de reformas del régimen internacional para el comercio de la vida salvaje. En tercer lugar, la comunidad internacional puede intervenir para incidir en el centro del problema, por ejemplo, por el establecimiento de mecanismos para canalizar los valores no apropiables de la diversidad (seguridad e información) hacia los países que son poseedores de ella; esto implicaría el desarrollo de regímenes análogos al de los derechos de propiedad intelectual en relación con la conservación de la diversidad.

3. Relación entre biotecnología, bioseguridad y biodiversidad. Consideraciones y Conclusiones

Dentro de la línea argumental que preside esta presentación, es conveniente insistir en el valor estratégico de la bioseguridad y biodiversidad como fuerzas que, en adecuada interacción y con su proyección sobre la sociedad y el medio ambiente, son decisivas para que el desarrollo de la ("moderna") biotecnología goce del mayor (re)conocimiento social.

A pesar de esta relevancia, no se puede ignorar que las relaciones entre estas dos fuerzas con la biotecnología son, a la luz de la información actual, complejas y ambivalentes.

Se exponen, a continuación, algunos de los aspectos más significativos de estas relaciones.

3.1 La bioseguridad es un área de investigación y desarrollo decisiva para la proyección

económica y social de la biotecnología. Sin embargo, su grado de madurez es muy diferente según el sector económico, el proceso industrial o el entorno en que se opere.

- Se puede establecer el siguiente gradiente en bioseguridad, *ámbito industrial* - procesos industriales → *entornos abiertos* - procesos agrícolas → tratamientos ambientales.
- Por ello es imperativo fomentar el desarrollo de la investigación científica y técnica en este campo, un objetivo que no es fácil de alcanzar por cuanto son temas que no están en el centro de la excelencia para la comunidad científica. De ahí, el papel decisivo que deben ejercer las políticas, públicas y privadas, para que estas líneas de investigación progresen.
- Es importante subrayar además que la constitución de un sustrato científico-técnico avanzado en el terreno de la bioseguridad es un requisito necesario para que se pueda progresar igualmente en el terreno de la bioética, permitiendo que los expertos puedan recuperar credibilidad. Al mismo tiempo, esta aproximación ética basada en la información y el conocimiento sobre bioseguridad puede ayudar a comprender desde todas las instancias -políticas, científicas y sociales- que no hay una sola orientación ética para abordar las aplicaciones de la biotecnología, sino que esa orientación depende o va a depender del sector económico en que se actúe, así como del proceso con que se opere y del producto que se quiera obtener.

Estas ideas se pueden resumir en la siguiente ecuación:

BIOSEGURIDAD = MEJOR ACCIÓN DE LOS EXPERTOS + MAS DEFINIDA REFLEXIÓN ÉTICA > COMPRENSIÓN SOCIAL DEL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA.

3.2 La conexión entre biotecnología y biodiversidad es todavía, en nuestra opinión, más compleja y ambivalente, con un conjunto de paradojas que entrecruzan sus relaciones.

Se mencionan algunos casos que muestran esta contraposición entre argumentos negativos (•) y positivos (⇒).

- La biotecnología necesita sustratos (materias primas), por lo que va a contribuir a reducir, al menos en términos cuantitativos, la diversidad.
- La biotecnología, al aplicar la modificación genética, crea organismos con nuevos caracteres o propiedades. Si estos "nuevos" organismos, que han incorporado material genético interespecífico, fueran muy aptos para desarrollarse en el ambiente en que se liberan, generarían evidentes problemas sobre la diversidad biológica. Esta posibilidad aparece, sin embargo, como remota puesto que estos organismos tienen que luchar contra la historia evolutiva, argumento que se debe aplicar para reconocer los límites a los efectos de la ingeniería genética sobre la diversidad biológica tanto desde el punto de vista positivo como negativo.

Sin embargo,

- El diseño de plantas que pueden crecer en suelos degradados contribuiría decisivamente a corregir los problemas de la reducción en suelo disponible y aumentaría el rendimiento de la superficie destinada a la agricultura.
- El diseño y utilización de organismos que degraden residuos o corrijan catástrofes ecológicas pueden contribuir a mejorar las condiciones de los medios naturales (suelo, agua). El argumento de los peligros que generarían "nuevos" organismos sigue vigente, aunque hay que tener en cuenta el contraargumento, anteriormente esbozado, de la lucha con la historia evolutiva.

- La biotecnología puede incrementar la productividad del suelo agrícola sin necesidad de acudir a la sobreexplotación, con la acción bajo diseño de cultivos que aumenten sus rendimientos.
- Todas las iniciativas orientadas a aumentar la rentabilidad del suelo agrícola pueden tener un efecto beneficioso sobre la biodiversidad, al corregir la erosión del suelo, uno de los problemas más críticos para el mantenimiento de la diversidad biológica como reconocen o denuncian muchos autores (véase, por ejemplo, Pearce y Moran, 1994).
- La utilización de la diversidad biológica es un gran activo para el desarrollo de la biotecnología con objetivos bien definidos. Cabe mencionar a este respecto el enorme interés que ofrecen los organismos extremófilos, es decir organismos que viven en condiciones letales para cualquier otro ser vivo. Las moléculas de algunos de estos microorganismos se están utilizando en la industria (Madigan y Mairs, 1997), ya que la utilización de sus enzimas puede incrementar el rendimiento de los procesos industriales y sus costes, al disminuir los requisitos de temperatura y otras condiciones (pH) que poseen los enzimas de microorganismos mesófilos. En el contexto de la ciencia básica, la investigación sobre los extremófilos ha llevado a redibujar el árbol de la vida (Pace, 1997).

En el mismo sentido, cabe hablar del interés de la realización de inventarios de recursos naturales como gran proyecto de carácter estratégico, que ha supuesto ventajas indiscutibles en algunos países, como ha sido el caso de Costa Rica. En este país centroamericano, se ha desarrollado el Instituto Nacional para la Biodiversidad (INBIO) que ha trabajado en un modelo propio de desarrollo, basado en el reconocimiento de una gran parte de su territorio como áreas protegidas y en el estudio taxonómico de las mismas. El INBIO firmó, a principios de los noventa, un contrato con la gran multinacional farmacéutica Merck para investigar plantas e insectos de las pluviselvas que pudieron encontrar actividades de interés terapéutico. No obstante, la transición hacia proyectos de mayor envergadura dentro de esta orientación no deja de entrañar dificultades, como puso de relieve la retirada de un ambicioso proyecto (*All-Taxa Biological Inventory*) diseñado a lo largo de una década (1983-1993) y abandonado en noviembre de 1996 (véase Kaiser, *Science*, vol 276, 9 mayo 1997).

- La aplicación de la secuenciación de genomas a un número creciente de microorganismos es un poderoso instrumento para diseñar estrategias que permitan identificar los mecanismos de la patogenicidad bacteriana. Genómica y biodiversidad unen sus fuerzas para ofrecer una imagen de la biología, que, desde el reduccionismo, lleve a la integración de cómo la interacción entre genes conduce a la creación del complejo mundo de la especialización microbiana (Strauss y Falkow; 1997)

3.3 Se ha procurado poner en evidencia que la bioseguridad y la biodiversidad son importantes no sólo por sí mismos, en lo que respecta a áreas de indagación y repercusión socio-económica, sino en lo que concierne a su relación con la biotecnología. Se han considerado como fuerzas o vectores cuya adecuada interacción y proyección debe dar una resultante que facilite el desarrollo más armónico de la biotecnología.

Ambos conceptos son ricos y complejos. Se sabe algo de ellos, pero es indispensable profundizar en su conocimiento y en su evolución. Esta es la tarea en la que los actores científicos y políticos deben estrechar su colaboración en el próximo futuro.

Bibliografía

- A. M. Bennet (1994) "Health hazards in biotechnology" en P. Hambleton *et al* (eds), *Biosafety in Industrial Biotechnology*, pp. 109-128, Blackie Academic & Professional, an Imprint of Chapman Hall, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.
- T. Cartwright (1994) *Animal cells as bioreactors*, Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne.
- European Commission (1996) *Biotechnology. Catalogue of contracts (1992-1994)*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- K.J. Gaston, ed (1996) *Biodiversity. A Biology of Numbers and Differences*, Blackwell, Oxford, London, Edinburgh, Cambridge, Victoria.
- K.J. Gaston (1996) "What is biodiversity" en *Biodiversity. A Biology of Numbers and Differences*, (K. J. Gaston, ed), págs 1-8, Blackwell, Oxford, London, Edimburgh, Cambridge, Victoria.
- P. Hambleton, J. Melling y T.T. Salusbury (eds) (1994) *Biosafety in Industrial Biotechnology*, Blackie Academic & Professional, an Imprint of Chapman & Hall, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.
- J. Kaiser (1997) "Unique, All Taxa Survey in Costa Rica 'Self-Destructs'", *Science*, 276, pp. 893.
- L. Kay (1993) *The Molecular Visión of Life: Caltech, the Rockefeller Foundation, and the Rise of the New Biology*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- L. Levidow y S. Carr (eds)(1996), Special issue of *Science and Public Policy*, vol. 23, number 3.
- M. T. Madigan y B. L. Marrs (1997) "Extremófilos", *Investigación y Ciencia*, junio, págs. 60-66.
- R. V. Miller (1998) "Intercambio de genes bacterianos en la naturaleza", *Investigación y Ciencia*, marzo, 13-18.
- E. Muñoz (1995) "Biodiversidad y bioseguridad: factores claves de una política para el desarrollo de la biotecnología", *Estudios para el Fomento de la Investigación CEFI*, número 7, págs. 32-36.
- E. Muñoz (1996) "Biotecnología y Medio Ambiente: encuentros y desencuentros", *Anales de la Real Academia de Farmacia*, vol. LXII, nº 2, págs. 135-154.
- E. Muñoz (1997a) *Biología, Industria y Sociedad. El caso español*, Fundación CEFI, Madrid.
- E. Muñoz (1997b) "Nueva biotecnología y sector agropecuario. El reto de las racionalidades contrapuestas". *Documento de Trabajo IESA-CSIC, 97-02*.
- E. Muñoz (1997c) "Política y regulación. Genética y salud en un contexto complejo y conflictivo", Documento de Trabajo IESA-CSIC 97-05.
- E. Muñoz (1998a) "Nueva biotecnología y sector agropecuario. El reto de las racionalidades contrapuestas", en *Genes en el laboratorio y en la fábrica*, págs. 119-140, Ed. Trotta S.A., Madrid.
- E. Muñoz (1998b) "Nuevas Tendencias en Biotecnología" en *Segundo Foro sobre Tendencias Sociales* (J. F. Tezanos, ed), Editorial Sistema. Madrid.
- K.P. Norris (1994) "Physical aspects of uncontrolled release of material in biotechnology operations" en P. Hambleton *et al* (eds), *Biosafety in Industrial Biotechnology*, pp. 90-108.
- B.G. Norton (1994) "On what we should save: the role of culture in determining conservation targets" en *Systematics and Conservation Evaluation* (P. L. Forey, C.J. Humphries & R. I. Vane-Wright, eds), págs 23-29, Oxford University Press, Oxford.

OTA (US Congress Office of Technology Assessment) (1987) *Technologies to Maintain Biological Diversity*, US Government Printing Office, Washington DC.

N. R. Pace (1997) "A Molecular View of Microbial Diversity and the Biosphere", *Science*, 276, pp. 734-740.

D. Pearce y D. Moran (1994) *The Economic Value of Biodiversity*, Earthscan, London.

E. R. Schmidt y Th. Hankeln (eds) (1996) *Transgenic Organisms and Biosafety*, Springer-Verlag, Heidelberg, New York.

M.E. Soulé (1991) "Conservation tactics for a constant crisis", *Science*, 253, pp. 744-749.

J. Straus (1995) "Biotechnology and Intellectual Property" en *Biotechnology* (H.J. Rehm y G. Reed con A. Pühler y P. Staedler, (eds), vol 12: *Legal, Economic and Ethical Dimensions* (D. Brauer, ed. vol.), págs 281-298, VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo.

E.J. Strauss y S. Falkow (1997) "Microbial Pathogenesis: Genomics and Beyond", *Science*, 276, pp. 707-712.

T. Swanson (1997) *Global Action for Biodiversity*, Earthscan, London.

T. M. Swanson (1994) *The International Regulation of Extinction*. Macmillan, Hampshire, London.

A. J. Taylor (1994) "The development of European legislation on genetically modified organisms" en P. Hambleton *et al* (eds.), *Biosafety in Industrial Biotechnology*, pp. 1-13.

J. Tomiuk, K. Wöhrmann y A. Sentker (eds) (1996) *Transgenic Organisms: Biological and Social Implications*, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin.

G. Walsh y D. Headon, (1994) *Protein Biotechnology*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, New York, Queensland, Ontario, Singapore.

K. Wöhrmann y J. Tomiuk (eds) (1993) *Transgenic Organisms: Risk Assessment of Deliberate Release*, Birkhauser Verlag, Basel.

K. Wöhrmann, A. Sentker y J. Tomiuk (1996) "Epilogue" en J. Tomiuk *et al* (eds), *Transgenic Organisms: Biological and Social Implications*, pp 255-263, Birkhäuser Verlag, Basel, Bostón, Berlín.

K. Wöhrmann, J. Tomiuk y A. Sentker (1996), "Prologue" en J. Tomiuk *et al* (eds), *Transgenic Organisms: Biological and Social Implications*, pp. 1-3.

Este trabajo fue objeto de una conferencia en la Real Academia de Farmacia (26 de marzo de 1998), y está publicado en los *Anales de la Real Academia de Farmacia*, **64**: 261-306, 1998.

El autor es miembro del Grupo ESFERAS (Estudios Sociales, Filosóficos y Económicos Relacionados con el Ambiente y la Salud). Este colectivo trabaja en el desarrollo de proyectos de investigación relativos a la dimensión socio-económica y a las implicaciones éticas y jurídicas de los avances científicos y tecnológicos en el ámbito de la biología y sus aplicaciones.