

A black and white photograph of a long, receding row of glass test tubes. Each tube contains a dark, glowing DNA double helix structure. The tubes are arranged in a perspective that leads the eye from the foreground towards the background. The background is a light, hazy sky, and the foreground shows the reflection of the tubes on a glossy surface.

**Perspectivas y controversias de las nuevas
biotecnologías. Apuntes y controversias
sobre una tecnología del siglo XXI**

Juan Antonio Taguenca Belmonte

Perspectivas y controversias de las nuevas biotecnologías

Apuntes sobre una tecnología del siglo XXI

Perspectivas y controversias de las nuevas biotecnologías

Apuntes sobre una tecnología del siglo XXI

Juan Antonio Taguenca Belmonte



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Pachuca de Soto, Hidalgo, México
2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Octavio Castillo Acosta
Rector

Julio César Leines Medécigo
Secretario General

Marco Antonio Alfaro Morales
Coordinador de la División de Extensión de la Cultura

Ivonne Juárez Ramírez
Directora del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

Fondo Editorial

Asael Ortiz Lazcano
Director de Ediciones y Publicaciones

Joselito Medina Marín
Subdirector de Ediciones y Publicaciones

Primera edición electrónica: 2023

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Abasolo 600, Col. Centro, Pachuca de Soto, Hidalgo, México, C.P. 42000
Dirección electrónica: editor@uaeh.edu.mx

El contenido y el tratamiento de los trabajos que componen este libro son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

ISBN: 978-607-482-772-9

Esta obra está autorizada bajo la licencia internacional Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd) No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para ver una copia de la licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.



Hecho en México/Printed in México

A Rocío y Antonia con amor.

Contenido

Prólogo	11
Introducción	15
CAPÍTULO 1	21
Introducción histórica de las nuevas biotecnologías	
CAPÍTULO 2	51
Aplicaciones de las nuevas biotecnologías	
CAPÍTULO 3	89
El riesgo en las nuevas biotecnologías	
CAPÍTULO 4	131
Problemas éticos que plantean las nuevas biotecnologías	
CAPÍTULO 5	171
Repercusiones de las nuevas biotecnologías en la ciencia, el comercio agroalimentario mundial y el “tercer mundo”	
CAPÍTULO 6	201
La opinión pública de las nuevas biotecnologías: el caso español	
Bibliografía	215

Agradecimientos

De noviembre de 2010 a enero 2011, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo a través de su excelentísimo rector, Humberto Veras Godoy, y del entonces director del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades, Adolfo Pontigo Loyola, actual secretario general de la Universidad, me financió una estancia en el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental de la Universidad Autónoma de Barcelona, dirigido por el doctor Louis Lemkow Zetterling. Gracias a la inmensa generosidad de todos ellos fue posible la realización del libro que el lector tiene en sus manos.

También debo reconocer que, en buena medida, lo bueno del mismo (que no lo malo) se debe a las enseñanzas recibidas en mi periodo de formación investigadora de la doctora Ángeles Lizón, sin cuya comprensión y paciencia no hubiese alcanzado el conocimiento teórico y metodológico necesario para acometer esta empresa.

Debo agradecer también, en la forma más efusiva, a las dos mujeres que me han alentado en los momentos más difíciles y que han estado junto a mí para darme los ánimos necesarios que toda actividad de la naturaleza de la presente requiere, me refiero a mi madre, Antonia Belmonte Moreno, y a mi compañera, Rocío Vega Budar. Gracias a ambas por su afecto y comprensión.

Por último, son muchas las personas que me ayudaron de una forma u otra a andar el difícil camino de escribir un libro, desde el librero que me buscó un texto imposible de hallar (pero que encontró), el bibliotecario que bajó a los sótanos de la universidad a buscarme una tesis, una revista, o los compañeros que me

aconsejaron bibliografía o discutieron conmigo un texto interesante. A todos ellos les expreso mi agradecimiento más sincero.

Prólogo

El libro *Perspectivas y controversias de las nuevas biotecnologías. Apuntes sobre una tecnología del siglo XXI* tiene la virtud de conjugar el pasado y el futuro de las tecnologías de la vida, en su más amplio sentido, desde el presente. Al respecto, nos remite a la constitución científica que posibilita el manejo de los genes, remitiéndonos a los orígenes científicos de la genética moderna, con las teorías que le dieron lugar, con avances en el buen camino y equivocaciones que fueron corregidas no sin polémicas en la comunidad disciplinaria. Esta primera etapa abarca aproximadamente un siglo, desde las aportaciones de Charles Robert Darwin, a mediados del siglo XIX, hasta el descubrimiento de la estructura molecular del ADN, por James Watson y Francis Crick a mediados del siglo XX. Pues bien, el autor nos plantea, en su primer capítulo, descriptiva y pormenorizadamente los pasos hacia adelante y hacia atrás de esta etapa constitutiva, donde múltiples experimentos vinieron a confirmar o refutar las teorías primigenias del funcionamiento de la “vida”.

En el segundo capítulo, el doctor Taguena nos describe cuáles son las aplicaciones tecnológicas a que dieron lugar las teorías apuntadas. Aquí el autor introduce un orden clasificatorio y una graduación de aplicaciones: microorganismos, plantas, animales, seres humanos y otras aplicaciones (biosensores y alimentos, entre otros) que dan cuenta de las posibilidades aplicativas de las nuevas biotecnologías en el presente, inicios del siglo XXI, tanto a nivel de laboratorio como en la producción industrial. Las biotecnologías más actuales y su utilización nos adentran en un mundo que al lego le puede parecer mágico, pero cuya realidad aplicativa contiene para el experto posibilidades

manipulativas sobre las bases de la vida prometedoras de mejoras en los más diversos ámbitos.

La utilización de las biotecnologías no resulta inicua o por lo menos está en discusión permanente su impacto. En este sentido, el concepto de riesgo juega un papel central en el debate. El autor nos introduce en su tercer capítulo en dicho debate y en los estudios teóricos y, sobre todo, empíricos que señalan los peligros de usar las nuevas tecnologías de la vida indiscriminadamente, sin estudios de impacto que reduzcan la posibilidad de un uso indebido o accidente. En el mismo sentido, el capítulo cuarto nos da cuenta de la relación de las nuevas biotecnologías con la ética, pareja indisoluble y “mal avenida” –o por lo menos de complicadas relaciones– que viene cuestionada desde los más diversos ámbitos, tanto religiosos como profanos, pero que necesita de construcción de conocimiento por ambas vías para llegar a soluciones de conveniencia mutua. No es posible detener los avances tecnológicos en esta área, pero tampoco lo es que los mismos no tengan en cuenta el impacto ético que tienen en los humanos y las múltiples brechas que abren en la constitución moral y social de mujeres y hombres.

En el quinto capítulo, el doctor Taguenca vuelve a remitirnos a uno de los debates más importantes en torno a las nuevas biotecnologías. Se trata de sus repercusiones en el comercio agroalimentario mundial y, especialmente, las referidas a su impacto en las economías del “tercer mundo”. Para ilustrarnos en esta discusión el autor parte del concepto de “monopolio”. Al respecto, las nuevas tecnologías de la vida son causa de prácticas monopolísticas de las transnacionales que afectan profundamente las tradiciones agrícolas y ganaderas, desde, por ejemplo, la venta al por menor o el intercambio de semillas y el cruce de ganado. El resultado es la pérdida de biodiversidad y producción agroalimentaria mundial cautiva de unas pocas transnacionales, que dictan monopolísticamente las reglas del mercado, que regula por acuerdo la oferta y la demanda de alimentos en todo el planeta, volviendo de esta manera a los países del “tercer mundo” dependientes

y demandantes de las nuevas formas de producción agrícola y ganadera, y a los consumidores, preferentemente del “primer mundo”, sujetos a dictados de productos de consumo alimenticio extraños a sus propias tradiciones.

En el último capítulo, el autor de *Perspectivas y controversias de las nuevas biotecnologías. Apuntes sobre una tecnología del siglo XXI* nos señala la opinión pública con respecto a las nuevas biotecnologías, tomando el caso español como ejemplo. Para ello, utiliza cuatro estudios de opinión realizados en España en la década de los noventa. Los resultados nos muestran la ambivalencia de esta opinión, fruto sobre todo del desconocimiento, que provoca miedos infundados, por un lado, e ilusiones prematuras, por otro. Pese a ello, la opinión de los legos, que fue la recabada en estos estudios, posee la validez de una intuición capaz de percibir riesgos y realizar distinciones profundas sobre las prácticas científicas y tecnológicas que tienen como fundamento a las nuevas biotecnologías.

Para concluir, el libro que el lector tiene en sus manos posee méritos que lo hacen valioso. El primero de ellos es que nos lleva de la mano en la descripción histórica de las nuevas biotecnologías, tanto a nivel teórico como tecnológico y práctico. Esta descripción nos permite adentrarnos en la forma evolutiva, pero también disruptiva, en que dichos avances tuvieron lugar. El segundo mérito es que nos da cuenta de los debates más importantes que han tenido lugar en torno a estas nuevas tecnologías de la vida: debate sobre el riesgo, sobre las repercusiones éticas, sobre las repercusiones en la ciencia, el comercio agroalimentario y el “tercer mundo”. Por último, y no menos importante, ejemplifica la opinión de legos y expertos sobre las nuevas biotecnologías en los ámbitos: científico, tecnológico y práctico.

Doctor Louis Lemkow Zetterling

*Director del Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental
Catedrático de la Universidad Autónoma de Barcelona*

Introducción

No queremos dejar escapar la oportunidad que nos brinda esta introducción para dejar consignadas por escrito algunas de las consideraciones que nos han ocupado y preocupado durante la elaboración de este libro.

El ser humano se enfrenta por primera vez a la posibilidad de crear vida recombinando la existente. Los viejos mitos en forma de animales mitológicos empiezan a ser posibles en la realidad; los sueños del aprendiz de mago de dominar las fuerzas naturales y convertirlas en aquello que se desea han iniciado su camino hacia el mundo que habitamos. La naturaleza “natural” convertida en social por el *homo sapiens* deja definitivamente de pertenecerse para pertenecernos, sus últimos secretos son publicados. Transformada su faz en humana ya no nos sirve como bien largamente inmutable. Acorde con nuestros tiempos debe adaptarse al transformismo, al moldeado a la carta; hacerse necesaria no por lo que es, sino por lo que se pretende que sea. Su belleza no se contempla, porque nuestra actitud frente a esta ya no es contemplativa, sino definitivamente operativa. En efecto, la belleza de la naturaleza es ya únicamente paisaje lánguido de otros tiempos más románticos. En el espíritu comercial de nuestra época lo idílico ha perdido su razón de ser: ya no reconforta la conciencia en su comunión con lo natural. La conciencia de nuestros tiempos es otra, no necesita ser reconfortada, porque no existe más como propia. Tampoco la naturaleza es más belleza a contemplar, ahora es un bien a rentabilizar. La naturaleza transformada es más rentable que la existente porque ya es sociedad, y la sociedad puede ser apropiada como valor añadido tal como nos lo recuerdan Michael Redclift y Graham Woodgate:

In the process of coevolutionary change [el de la naturaleza y el de la sociedad], society has assumed more and more of the functions traditionally undertaken by nature (...) Aspects of nature have been refashioned and converted into industrial processes, under scientific control. This is particularly evident in the new biotechnology industries, and genetic engineering. (Redclift y Woodgate, 1997: 59).

La naturaleza humana no escapa a este proceso de transformación de la vida. Lejos de ello, es el eje central de esa rueda que avanza por un camino desconocido. Siendo el hombre el que activa la nueva vida, hecha de retazos de las viejas, también es el “objeto” máspreciado donde ensayar, el banco de pruebas donde las transformaciones adquieren su última razón de ser. No se trata tan sólo de reparar las anomalías genéticas que niegan la “buena vida”, se trata en última instancia de la “buena vida” misma; es decir, la reparación de las anomalías del genoma, a través de terapias diseñadas por la ingeniería genética que las corrigen. No es el medio para aproximarse a la “buena vida”, sino la “buena vida” misma. En efecto, el juego de la realidad y el deseo van más allá de la “salud” para hacer, van hacia el sentir que se puede ser lo que se quiere ser sobre la base de la transformación genética de lo que se es. En este sentido, la manipulación de las células madre embrionarias nos acercan a que esto sea posible. A pesar de que Thomas Zwoka (el primer científico que consiguió, en 1998, aislarlas y el primero también que ha conseguido manipularlas, en 2003) afirme que “no es posible con la tecnología existente o que el hacerlo tenga poco sentido”.¹

La lotería genética basada en el azar queda, desde las nuevas biotecnologías, anulada; el mercado ocupa ahora su lugar. La vida humana queda así mercantilizada en su propia esencia, y como ocurría en el caso de la naturaleza, la vida humana transformada es más rentable, puesto que puede ser apropiada. Como señala Sheldon Krinsky: “*Science is a big business and recombinant DNA research is*

¹ Cf. M. Fox (2003: 27).

no exception” (Krimsky , 1992: 275-276).

Todo este proceso histórico que apenas si hemos iniciado, pero cuyos gérmenes ya empiezan a vislumbrarse, conduce hacia un monopolio legal de todo lo vivo. Somos conscientes de la carga explosiva de dicha afirmación, y la misma puede ser tildada de grandilocuente; y realmente lo es, puesto que implica algo extraordinario que nos espera como un mal sueño. Pero no podemos dejar de constatar lo ocurrido desde la década de los ochenta con el sector agroalimentario y extraer consecuencias de ello. Tampoco podemos dejar de constatar cómo la tendencia histórica que relaciona el poder de las tecnologías con la concentración en cada vez menos manos de los mercados donde se instalan. Es así con la energía nuclear, donde unas pocas compañías por país dominan este sector, pero también lo es en los importantes sectores agroquímico y farmacológico.

Somos pesimistas respecto a que estas nuevas tecnologías de la vida sean dirigidas, reguladas y controladas democráticamente, es decir, sobre la base de diálogos sociopolíticos entre los agentes sociales involucrados en sus desarrollos y los afectados por los mismos. La propia negación de un lado de la balanza (el lado crítico, del que se dice que es incapaz de dar buenas razones, esto esbasadas en el conocimiento científico) por el otro (el grupo de “expertos” formado por científicos, empresas, y responsables de la administración pública, todos ellos vinculados con las nuevas biotecnologías) es sintomática al respecto.

La misma ciencia es removida en sus cimientos por las nuevas biotecnologías. La institución científica, basada fundamentalmente en la publicación de los resultados que obtiene, ve cómo cuanto más se aproximan sus conocimientos a tecnologías útiles y rentables su opacidad es mayor. La ciencia se convierte en empresa, donde el beneficio se asocia cada vez más a estrategias de ocultación. En esta forma, ella misma “pone palos a las ruedas” que le han permitido avanzar al ganarse la legitimidad social que tanto necesita para su labor. Por otro lado, esta deja de ser la búsqueda del conocimiento para convertirse en carrera por la utilidad que garantice a los laboratorios nuevos contratos con las empresas

o la administración. El sistema público de ciencia y tecnología no escapa a esta tendencia que vincula la ciencia a su utilidad comercial y no al avance del conocimiento. Tal es así que se le denomina de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación, uniendo en esta forma la ciencia a la producción industrial de manera indisoluble, y poniendo el énfasis en los aspectos más aplicativos y próximos a la fabricación de productos, y menos en aquellos que comúnmente se han llamado *básicos*. Las nuevas tecnologías de la vida no escapan a esta tendencia, antes bien le son ejemplificadoras.

En cuanto a la distribución de contenidos de este libro, lo hemos dividido en seis capítulos. En el primero de ellos ofrecemos, aunque de forma bastante resumida, una introducción histórica de las nuevas biotecnologías. Este capítulo lo iniciamos con una distinción entre biotecnología tradicional y nueva biotecnología, y hacemos eco de los avances teóricos y científicos de esta área desde 1859, fecha en que se publica la archiconocida obra de Darwin: *On the origin of species by means of natural selection*, hasta 1953, año en que se publican en *Nature* los menos conocidos artículos de James Watson y Francis Crick sobre la estructura molecular de los ácidos nucleicos (ADN). En el capítulo segundo damos repaso a las aplicaciones más importantes de las nuevas biotecnologías. Iniciamos el mismo con un resumen breve de los avances científicos y tecnológicos desde el descubrimiento de la estructura del ADN, y extendemos el mismo hasta el año 2001, en el que se dio a conocer el primer borrador del código genético humano. Después de este resumen nos adentramos en las aplicaciones en sí, las cuales planteamos según sea la materia viva sujeta a modificación: microorganismos, plantas, animales, seres humanos, producción de biosensores y alimentos. El capítulo tercero lo dedicamos a analizar la problemática del riesgo que plantean las nuevas biotecnologías. Esto lo hacemos atendiendo a las distintas aplicaciones que lo ocasionan. También nos ocupamos en este capítulo de los problemas de definición que este concepto tiene. Al respecto, introducimos en cinco posiciones teóricas que lo entienden en forma distinta, y que dan cuenta de la riqueza y

la complejidad conceptual alcanzada. Acabamos este capítulo con el importante tema de la percepción del riesgo. En el capítulo cuarto se plantean los problemas éticos de las nuevas biotecnologías. De ellos destacamos los que se producen en el embrión y en los no autónomos. También planteamos dos escenarios hipotéticos en los que es posible realizar eugenesia positiva; es decir, que permiten realizar mejoras genéticas tanto en embriones como en adultos. En el capítulo quinto explicamos las consecuencias de la entrada en escena de las nuevas biotecnologías en el comercio mundial, de las que destacamos las que tienen para la ciencia, pero, sobre todo, destacamos que las nuevas biotecnologías favorecen el monopolio de la cadena agroalimentaria. También hacemos referencia en este capítulo a las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “tercer mundo”. De estas, destacamos las que se provocan en la agricultura, y a las que tienen su origen en la aplicación de los derechos de la propiedad intelectual. El último capítulo de este libro, el sexto, trata sobre las nuevas biotecnologías en España. En él hablamos de la estructura pública y privada de la biotecnología en nuestro país, así como de la opinión de los españoles sobre estas nuevas tecnologías de la vida.

CAPÍTULO 1

Introducción histórica de las nuevas biotecnologías

1. La biotecnología tradicional

Desde que el ser humano abandonó las comunidades basadas en la caza y la recolección y formó sociedades agrícolas las técnicas de mejora de plantas y ganado que le servían de alimentos, progresaron continuamente. Este proceso de “domesticación” de la flora y la fauna del territorio, base fundamental de los asentamientos de las primeras culturas humanas, se fue construyendo a través de la transmisión de conocimientos tradicionales, al igual que los nuevos hallazgos basados en la observación y experimentación llevados a cabo por las comunidades agrícolas y ganaderas durante muchas generaciones.

Por otro lado, la experimentación en alimentos provenientes de la naturaleza supuso descubrir técnicas que permitían elaborarlos de otra forma, dándoles otro sabor y textura, e incluso otro contenido proteínico. De esta forma surgieron bebidas como el vino y la cerveza, de la fermentación de la uva y la cebada respectivamente; o nuevos alimentos derivados de la leche como el queso y el yogurt, o el pan a partir de la harina y la levadura.

Plantas tan importantes para nuestra subsistencia como el trigo, el maíz y la cebada son el resultado de la aplicación de técnicas de mejora de vegetales, como la selección de semillas aplicadas por generaciones de agricultores; animales como el cerdo, la vaca, la gallina y la cabra, tal y como los conocemos, son el fruto de los cruces y selecciones realizadas por generaciones de ganaderos; y bebidas y alimentos como las citadas en el párrafo anterior, son consecuencia de

la mejora de las técnicas artesanales que servían para su elaboración.

El conjunto de técnicas tradicionales aplicadas a la agricultura, ganadería y alimentación, que constituye lo que se ha llamado biotecnología tradicional, ha dado buenos resultados durante mucho tiempo, que llega incluso a aumentar la variedad genética existente. Sin embargo, las necesidades crecientes de mayores rendimientos en las cosechas y del ganado, así como las nuevas características que se les exigen a los alimentos, han puesto en evidencia sus limitaciones y la necesidad de sustituirlas por las nuevas biotecnologías.

No fue hasta el siglo XIX, con la industrialización de la producción alimenticia y con el avance científico y tecnológico en las ciencias biológicas, que las biotecnologías tradicionales empezaron a desplazarse hacia las nuevas, cuyo auge definitivo se sitúa en nuestros días.

En efecto, la revolución científica iniciada por Copérnico con su "*De revolutionibus orbium coelestium*", aparecida en 1543 no alcanzaría a las ciencias de la vida hasta el siglo XIX con la publicación, en 1959 de la obra de Charles Darwin "*On the origin of species by means of natural selection*". Ello no quiere decir que no hubiera con anterioridad avances en el conocimiento de los problemas biológicos. Figuras como William Harvey (1578-1657) o Richard Lower (1631-1691), por citar tan solo un par de las más representativas, fueron decisivas a la hora de iniciar el nuevo camino de la investigación experimental, camino que aborda de una forma distinta los problemas biológicos y acaba con la supremacía de la teoría de los espíritus vitales. Sin embargo:

Con ser brillantes los destellos de percepción biológica que iluminaron este período, los problemas de la biología eran demasiado numerosos y demasiado complejos para permitir la formación de una estructura interpretativa que fuera exhaustiva y estable; hasta el siglo XIX no se eliminaron gradualmente muchos factores limitadores de índole técnica y conceptual (Hall, 1985: 263).

2. Las nuevas biotecnologías

Resulta difícil dar una definición sobre lo que son las nuevas biotecnologías, o incluso enumerar las técnicas de la vida que deben incluirse en ellas. En este sentido, como señala el sociólogo Louis Lemkow:

Biotecnología es un concepto paraguas bajo el cual se agrupan técnicas y aplicaciones que cubren diversos campos (...) Incluso hoy en día muchas reuniones científicas sobre biotecnología empiezan con largos debates a propósito de la definición adecuada de biotecnología. Esta situación viene ejemplificada por la coexistencia de 41 definiciones diferentes de la biotecnología en los documentos de la Unión Europea. (Lemkow, 2002: 182).

De las muchas definiciones que se han dado sobre las nuevas biotecnologías en este libro, vamos a tener en cuenta las siguientes:

Aplicación de organismos, sistemas biológicos o procesos biológicos a las industrias de manufacturación y de servicios. Esta definición puede extenderse e incluir cualquier proceso en el que se utilicen organismos, tejidos, células, orgánulos o enzimas aislados para convertir materias primas de tipo biológico en productos de mayor valor, así como el diseño y uso de reactores fermentadores, procesos de purificación, equipos de control y análisis asociados a procesos de producción biológica. Ciertos aspectos de la ingeniería genética y bioingeniería también se incluyen, a veces dentro del término biotecnología, así como también algunos aspectos de la agricultura y silvicultura en los que se utilizan técnicas de propagación o manipulación genética *in vitro* (Coombs, 1999: 47-48).

Utilización comercial de las técnicas de ADN recombinante, la fusión celular y los nuevos procedimientos de bioingeniería (Muñoz, 1995: 1).

La segunda definición es la que vamos a tener en cuenta preferentemente, ya que ella es la que nos permite distinguir mejor entre biotecnologías tradicionales y nuevas biotecnologías. Por otra parte, a lo largo del libro utilizaremos, si no se

hace mención en sentido contrario, el término biotecnología como si de nuevas biotecnologías se tratara.

En cuanto a las técnicas que abarcan estas nuevas tecnologías de la vida, las mismas las veremos y desarrollaremos en el capítulo segundo, y lo haremos en función de la materia viva utilizada: microorganismos, plantas, animales y seres humanos. Esta clasificación nos permitirá distinguir mejor cuales son las biotecnologías específicas y comunes que se están aplicando para cada caso.

3. Similitudes y diferencias entre la biotecnología tradicional y las nuevas biotecnologías

Existe cierto proceso de continuidad entre las biotecnologías tradicionales y las nuevas, aunque también hay diferencias sustanciales entre ambas. A *grosso modo*, mientras unas y otras coinciden en cuanto a sus objetivos y su aplicación, sobre la base de intercambiar genes como forma de mejorar el rendimiento de los productos obtenidos, difieren sustancialmente en cuanto a su extensión, donde las nuevas biotecnologías abarcan nuevos dominios como el medio ambiente, la producción de materias orgánicas a granel, la minería, la salud, la farmaquímica y la química fina; a su potencialidad; a su exactitud en las operaciones que sobre la materia viva se realizan para obtener los resultados, al tiempo para obtener éstos; a la amplitud de las fuentes que sirven para el intercambio, llegando incluso al extremo de que genes de animales pueden introducirse en plantas, o viceversa, para expresar la característica deseada poseída por unos en otros; y a su dependencia absoluta del conocimiento científico y tecnológico. En este sentido, las nuevas biotecnologías serían imposibles si no se hubiese obtenido la primera molécula de ADN recombinante por Paul Berg, del Salk Institute de la Jolla, en 1971; o sin el descubrimiento de la estructura del ácido Desoxirribonucleico (ADN) por James Watson y Francis Crick, en 1953; o sin los trabajos que J. Gregor Mendel realizó sobre la herencia, en 1865, que suelen considerarse como el origen de la genética clásica o formal.

En resumen, las nuevas biotecnologías, basadas en los descubrimientos científicos y en los avances tecnológicos en torno a la materia viva, son sustancialmente diferentes a las tradicionales en cuanto a extensión, potencialidad, reducción de tiempo al logro de objetivos, dependencia del conocimiento científico y tecnológico; y equiparables a las tradicionales en cuanto a objetivos y aplicación de intercambio de genes para mejorar los rendimientos de los productos obtenidos.

4. Los orígenes de la genética moderna (1858-1900)

Las nuevas biotecnologías tienen, en buena medida, como base los nuevos conocimientos que sobre genética² se han desarrollado desde mediados del siglo XIX. Sin los mismos, basados en descubrimientos obtenidos a través de métodos de investigación científica y en el desarrollo de tecnologías cada vez más adecuadas a los objetivos perseguidos, no hubiese sido posible desarrollar las nuevas tecnologías de la vida que se utilizan en la actualidad.

El periodo inicial de la genética moderna lo hemos situado entre dos acontecimientos trascendentales que marcan, aunque únicamente sea sobre la base de una temporalización ideal, hitos importantes en su nacimiento y desarrollo. Los mismos son la publicación en la revista londinense *Linnean Society*, en 1858, de los trabajos de Charles Robert Darwin (1809-1882) y del naturalista Alfred Rusell Wallace (1823-1913) relacionados con la teoría de la evolución, trabajos que son considerados como el punto de partida de la genética de poblaciones; y el redescubrimiento en tres lugares distintos y por tres científicos,³ que no estaban relacionados entre sí, del trabajo de Gregor Mendel sobre la identificación de los caracteres que eran constantes, y que se expresaban en algunos, pero no en todos los individuos de una población de guisantes.

² Recordemos que el nombre de genética como ciencia apareció por primera vez en 1906, a propuesta de William Bateson, en la *III Conference of Hybridization and Plant Breeding* que se celebró en Londres.

³ Concretamente por Carl Correns en Tübingen, Erich von Tshermak en Viena, y Hugo de Vries en Ámsterdam.

Como punto de partida de la genética moderna podemos considerar, aunque sea tan solo a efectos prácticos, como premisa la división conceptual producida entre la genética de poblaciones y evolutiva respecto a la genética formal y molecular, los trabajos de Charles Robert Darwin sobre la evolución por selección natural, los de Gregor Mendel (1822-1884) sobre la herencia mediante factores, y los de August Weismann (1834-1914) sobre la base celular de la herencia.

4.1 Las aportaciones de Charles Robert Darwin a la genética moderna

La aportación de Darwin consistió en señalar que la selección de tipos nuevos era consecuencia de la supervivencia y/o de reproducciones diferenciales. La idea es que el tipo mejor adaptado a un ambiente dado vive más tiempo y deja mayor descendencia. Esta teoría constituye:

Una revolución en sentido plenamente kuhniano. En ella convergen líneas de pensamiento nacidas de dominios tan dispares como la anatomía comparada, la taxonomía, la geología, la demografía, la economía y política y, ¿por qué no decirlo? ideas que provienen de la mejora de razas animales y vegetales. De Darwin es la síntesis genial que da coherencia a todo este manojito de conocimientos y que el denomino <<selección natural>> (Perinat y Lemkow, 1983: 14).

Esta aportación de Darwin se basa en conceptos fundamentales desarrollados con anterioridad a la publicación de su libro *On the origin of species by means of natural selection*. El propio autor lo reconoce en esta obra al hacer un resumen histórico del desarrollo de las ideas acerca del origen de las especies comenta al respecto que:

El primer hombre cuyas conclusiones sobre este asunto despertaron mucho la atención fue Lamarck. Este naturalista, justamente celebrado, publicó primero sus opiniones en 1801, las amplió sobremanera en 1809, en su *Philosophie Zoologique*, y, subsiguientemente, en 1815, en la *Introducción*

a su *Historie Naturel des Animaux sans Vertébrés*. En estas obras sostuvo la doctrina de que todas las especies, incluso el hombre, han descendido de otras especies (Darwin, 1974: 6).

Los conceptos fundamentales a los que nos referíamos en el párrafo anterior son mencionados por S. Rose, et al. en su libro *Historia y relaciones sociales de la genética*, y son:

1. Semejante engendra a semejante; es decir, hay especies de organismos identificables.
2. Estas especies no son totalmente discontinuas, sino que durante un largo período geológico se transforman gradualmente en formas nuevas, diferentes.
3. Es competencia de los individuos satisfacer sus necesidades en condiciones de relativa escasez.
4. Una vez adquiridas las variaciones por parte de un progenitor tienden a transmitirse a la descendencia (Rose *et al.*, 1983: 19).

4.2 Las aportaciones de Johan Gregor Mendel a la genética moderna

A Johan Gregor Mendel, monje agustino austriaco, se le considera, no sin razón, el padre de la genética clásica. Son de sobras conocidos los experimentos que Mendel realizó sobre guisantes, y en los que pretendía identificar los caracteres constantes expresados en algunos individuos de la población estudiada. Lo que destaca de estos experimentos es la originalidad del método empleado para el estudio de la herencia, método que incluye la observación, la experimentación, la cuantificación y la selección de pureza de razas paternas originales.

Mendel dividió los guisantes que le servían para sus experimentos en clases definidas por caracteres diferentes y emparejados, y estudió la forma en cómo se heredaban dichos caracteres. Cruzó distintas clases de guisantes y obtuvo líneas puras. Es decir, consiguió que cuando un individuo de una línea pura se cruzaba

con otro individuo de la misma línea tuviera siempre descendientes iguales a él. Por ejemplo, el cruzamiento de líneas puras de individuos de plantas pequeñas siempre producía descendencia de plantas pequeñas, y el cruzamiento de líneas puras de individuos de plantas grandes siempre producía descendencia de plantas grandes. También cruzó individuos de líneas puras diferentes y estudió la descendencia de estos cruces. Esto lo llevo a cabo con individuos de líneas puras de plantas grandes y pequeñas, obteniendo siempre una descendencia de plantas grandes y nunca descendientes de plantas medianas o pequeñas.

En una etapa posterior del experimento, Mendel cruzó las plantas grandes obtenidas por el cruzamiento de las plantas grandes y pequeñas, y no obtuvo un resultado uniforme; puesto que la descendencia fue aproximadamente de tres plantas grandes por cada pequeña. En realidad la proporción exacta obtenida en el experimento fue de 2.84 plantas grandes por cada planta pequeña. En números absolutos, el experimento dio como resultado 787 plantas grandes por 277 plantas pequeñas.

Para explicar tales resultados Mendel supuso que cada guisante tenía dos factores (genes según la terminología moderna) que controlaban el *carácter*. Supuso también que los dos factores importantes de cada individuo, en las líneas parentales puras, eran iguales. Es decir:

Podemos simbolizar cada par de genes (lo que se llama un genotipo) de la línea grande como TT y de la raza pequeña como tt. Cuando un individuo se reproduce produce gametos, llamados polen y óvulos en las plantas (en los animales se habla de espermatozoides y huevos). Cada gameto contiene uno de los dos genes del par. Los gametos de una planta (TT) contienen solo uno de los genes T. Los de las plantas iniciales enanas contienen un gen t. La reproducción tiene lugar por medio de la fusión de los gametos de los individuos. En el primer cruzamiento de Mendel todos los individuos nuevos fueron producidos por la fusión de un gen T, procedente del progenitor grande, un gen t procedente del progenitor pequeño. Toda la descendencia, por tanto, tuvo el genotipo Tt, y como ya hemos visto era

toda de plantas grandes. Mendel explicó este hecho como dominancia del gen T sobre el gen t (dominancia significa que la característica del gen dominante se expresa cuando éste se encuentra en combinación con su clase complementaria del gen, el cual se llama recesivo). En este punto conocemos todo lo necesario para poder explicar la segunda generación. Ésta se formó por cruzamiento de dos individuos parentales Tt. Cada uno de ellos produce gametos T y gametos t en proporciones iguales. Los gametos de los dos progenitores se juntan. La mitad de los gametos T de un progenitor se juntan con los gametos T del otro progenitor, y la otra mitad con gametos t. De forma similar la mitad de los gametos t se juntan con gametos T del otro progenitor, y la otra mitad con los t. ¿Qué proporciones de genotipos se obtienen así? Hay una sola forma de obtener genotipos TT y también una de obtenerlos tt, pero hay dos formas de obtener Tt. Por tanto las proporciones son de 1TT:2Tt:1tt. Los guisantes Tt son altos porque T es dominante. De modo que la relación entre plantas gigantes y plantas enanas sería de 3:1, tal como se encuentra en realidad (Ridley, 1987: 29-31).

La aportación de Mendel tiene implicaciones importantes para el conocimiento de cómo se produce la herencia a través de los factores (genes). A este respecto destacamos las siguientes cuatro implicaciones:

1. La herencia se produce en forma particulada y no mezclada o fundida;
2. No se produce ningún cambio consistente entre generaciones;
3. La herencia no se produce de forma determinista, al establecerse estadísticamente;
4. La herencia que se transmite a la siguiente generación (salvo mutaciones y recombinaciones de genes) está determinada por la propia herencia recibida por los progenitores, lo cual nos indica que no se heredan los caracteres adquiridos en una sola generación.⁴

4 La consecuencia de esta implicación es la refutación del modelo Lamarckiano de herencia.

Gregor Mendel publicó sus resultados sobre las proporciones de producción de la descendencia con caracteres distintos en *Pisum sativum*, en 1866, en las Actas de la Sociedad de Brünn para el estudio de las Ciencias Naturales, donde en febrero del año anterior había pronunciado una disertación sobre el mismo tema. La comunidad científica de la época acogió con reticencias los resultados del monje de Brünn, debido a que la exactitud de los datos que aportaba, hacían sospechosos los experimentos. A esto había que añadir el alejamiento de Gregor Mendel de los principales lugares de debate científico sobre el tema, el lugar donde publicó sus resultados,⁵ y el nulo prestigio científico internacional que tenía Mendel. También hay que añadir que la planta de los guisantes, tomada como objeto de estudio, no era considerada como la mejor para estudiar la herencia.⁶ La obra científica de Mendel cayó en el olvido durante los treinta y cuatro años siguientes.

4.3 Las aportaciones de August Weismann a la genética moderna

August Weismann planteó en la década de 1880 el modelo de la división reductora. Para él, eran los cromosomas quienes constituían la base de la herencia, combinándose y recombinándose en sucesivas generaciones. Además, apoyándose en los avances fundamentales producidos en el microscopio óptico (estos avances contribuyeron a establecer el axioma de que todos los organismos están formados por células) y en experimentos que implicaban mutilación, afirmó que el mecanismo por el cual se producían avances en la evolución, era la recombinación, y no la herencia de los caracteres adquiridos.

Para este científico existía una línea de células germinales que era la que se encargaba de transmitir la herencia a través de combinaciones, distintas para

5 Pese a que las actas de la Sociedad de Brünn para el Estudio de las Ciencias Naturales eran coleccionadas por más de cien bibliotecas, no puede decirse que las mismas fueran reconocidas internacionalmente por su calidad científica.

6 A este respecto es significativa la contestación que el doctor Karl Nageli, famoso botánico de Múnich, dio a la copia que Mendel le envió de su disertación. En esta contestación el doctor Nageli sugirió a Mendel que centrara su atención en la especie de la *vellosilla* o hierba del halcón.

cada caso, de los constituyentes primarios presentados por los progenitores. La diferencia entre descendientes era el resultado de la partición por la mitad del plasma germinal en el proceso de “división reductora”, la cual se producía cada vez de forma distinta. Este proceso daría lugar a una elevada cantidad de combinaciones posibles.

Weismann identificó también una línea de células somáticas. Esta línea somática era la que se hallaba en contacto con el medio en que se desenvolvía el individuo, y era en esta línea donde iban a parar los cambios producidos por esa relación.

Es importante señalar que para este autor alemán, las líneas constituidas por las células germinales y la constituida por las células somáticas, estaban totalmente separadas por la evolución, lo que venía a significar que los cambios adquiridos por un individuo durante su vida, y que se instalaban en su línea de células somáticas, no eran heredados por sus descendientes.

En la práctica, al ignorar la extremada complejidad de las interacciones entre lo que posteriormente vendría a llamarse genotipo y el ambiente, el modelo weismanniano conduce a una concepción del plasma germinal como sustancia inmortal.

5. Los avances de la genética moderna (1900-1953)

El periodo que consideramos se inicia con el redescubrimiento del trabajo de Mendel, y termina en la fecha en que aparecieron en *Nature* los artículos de James Watson y Francis Crick sobre la estructura molecular de los ácidos nucleicos, y sobre las implicaciones genéticas de la estructura del ácido desoxirribonucleico. El descubrimiento de la estructura molecular de los ácidos nucleicos produjo un salto cualitativo en la genética.

En los primeros veinte años del siglo XX se establecieron las bases de la genética moderna; bases que se fueron desarrollando hasta alcanzar, ya entrada la década de los cincuenta, uno de sus puntos culminantes con el descubrimiento

de la doble hélice como estructura del ADN, descubrimiento realizado por James Watson y Francis Crik, también con el triunfo de la biología molecular en esa misma década.

No vamos a recoger en este apartado, ni mucho menos, todos los avances que en genética se produjeron entre las dos fechas señaladas. Lejos de ello, nos centraremos en algunas ideas e hitos científicos importantes en esta área de conocimiento. Tanto las unas como los otros nos servirán de hilo conductor para explicar el desarrollo de esta disciplina científica.

5.1 El debate entre los partidarios de la variabilidad continua y los partidarios de la variabilidad discontinua

En los primeros años de este siglo había, en el ámbito de la biología de poblaciones, una acérrima disputa acerca de cuál era el “mecanismo de la evolución” y la “naturaleza de la variación”. El redescubrimiento del trabajo del monje de Brünn, avivó más la polémica sobre estos temas.

El asunto estrella de esta controversia era el de las diferencias entre “variabilidad continua” y “variabilidad discontinua”. Dos escuelas se enfrentaban, apoyando cada una de ellas una de las posiciones. Así para Darwin y sus seguidores, la evolución estaba basada en pequeños cambios. Sin embargo, Francis Galton⁷ (1823-1911) y Thomas H. Huxley (1825-1895) creían, al igual que los mendelianos, que la evolución se producía de forma discontinua. Destacar que la escuela biométrica, aunque fundada por Galton, tomó partido por la evolución

⁷ A Francis Galton y a Karl Pearson les cabe el triste honor de ser los fundadores del movimiento eugenésico. Es indudable que ambos científicos actuaban bajo valores que les indicaban que su proceder conduciría a una sociedad mejor. Sin embargo, las consecuencias de la eugenesia fueron extremadamente negativas en el gran período de tiempo que abarcó. El 1 de octubre de 1910 empezó a funcionar el departamento de Registros de Eugenesia en la costa norte de Long Island, junto a un centro de evolución experimental ya existente. El director del departamento del Registro de Eugenesia, era Charles B. Davenport. La eugenesia mantuvo su vigencia hasta el final de la segunda guerra mundial, dónde los excesos cometidos por los nazis, y antes por los estadounidenses, entre otros, causaron que la opinión pública se mostrara totalmente en desacuerdo con los dictados eugenésicos. A esto contribuyó también el mejor conocimiento de los factores que influían en la herencia.

planteada por Darwin. Autores tan destacados de esta escuela biométrica⁸ como Karl Pearson (1857-1936) y Walter F.R. Weldon (1860-1906) estaban convencidos de que los métodos estadísticos, que eran esenciales para solucionar el problema de la evolución, dejarían claro que la misma se producía de forma continua, y no de manera discontinua como opinaban sus detractores.

William Bateson⁹ (1861-1926) fue el mayor oponente de la escuela que abogaba por una evolución continua. Para este autor, que mantuvo una gran polémica con Pearson y Weldon, cuestión de la que se hizo eco la revista *Nature* en la década de 1890, la lectura del trabajo de Mendel, que realizó por primera vez en 1900, fue una confirmación de su propia tesis de que la variación se producía de forma discontinua. Parecía haber una relación obvia entre el descubrimiento de Mendel de la variación discontinua y las teorías que se adherían a la evolución discontinua.

El debate entre los darvinistas que creían en la herencia continua y los mendelianos que creían en que ésta se producía de forma discontinua, se cerró a favor de estos últimos. Los experimentos realizados en la primera década del siglo XX fueron confirmando las proporciones mendelianas en muchos organismos diferentes, incluso en animales, y para muchos caracteres distintos. Las pruebas empíricas que estos experimentos proporcionaban eran lo suficientemente significativas para que Pearson y los biométricos cambiaran de opinión, respecto a su posición de continuidad de la herencia.

⁸ Recordemos que la escuela biométrica tuvo un papel muy destacado en el movimiento eugenésico. Una buena aproximación sobre las relaciones entre la genética, la eugenesia y la estadística la podemos encontrar en D. A. MacKenzie (1981).

⁹ William Bateson es una de las figuras más importantes del impulso, hacia la buena dirección, que recibe la genética a principios del siglo XX. A él se deben numerosos términos y conceptos genéticos fundamentales, como por ejemplo: alelo, heterocigoto, homocigoto y genética en su acepción científica. También se le deben a él, junto a sus colegas de laboratorio, descubrimientos como los de: la epistasis, el ligamiento y el ligamiento sexual.

5.2 Las posibilidades y los límites de la selección

En los primeros años del siglo XX se intentó establecer cuáles eran las posibilidades y límites de la selección. Así, Wilhelm Johannsen¹⁰ (1857-1927) realizó experimentos en la *phaseolus vulgaris* (judías), una planta que se autofecunda, demostrando que el tamaño de éstas depende del azar ambiental, y no de la selección.

Los conocidos experimentos de Johannsen, que intentaban comprobar la <<ley de regresión de Galtón>>,¹¹ consistieron en lo siguiente: seleccionó de una población, que provenía de un surtido comercial, plantas que producían judías grandes o pequeñas. Cuando obtuvo la tercera generación de la serie original mezclada, separó dos grupos de poblaciones de plantas; un grupo representado por judías de tamaño medio grande y otro representado por judías de tamaño medio pequeño. La pregunta que surgió con el resultado obtenido fue si este se debía a que se había alterado la constitución genética de las plantas a consecuencia de las selecciones realizadas, o era consecuencia de que en la población original (en la que se realizó la mezcla) ya había judías de tamaño grande y pequeño. Johannsen intentó contestar esta pregunta con un nuevo experimento. Tomó una planta autofecundada, después seleccionó las judías más grandes y las más pequeñas y las sembró. Este proceso lo repitió durante seis generaciones. El resultado que obtuvo fue que de las judías seleccionadas (más grandes o más pequeñas) se obtenían judías que tenían idéntico tamaño medio. Ello venía a decir que la selección no producía en la descendencia de plantas autofecundadas ningún efecto, y que el tamaño de las judías se debía al azar ambiental.

Johannsen expuso claramente cuál era la interpretación que daba a los resultados obtenidos en sus experimentos. Así en un escrito suyo titulado: “*Elemente der Exacten Erblchkeitslehre*”, y fechado en 1909, dijo:

10 Recordemos que a este investigador se debe la teoría de las líneas puras, y que desarrolló conceptos tan importantes en genética como: gene, genotipo y fenotipo.

11 La <<ley de regresión de Galton>> señala que la descendencia tiende a expresar el promedio de la raza a la que pertenece, incluso más que a expresar el promedio de los caracteres de los progenitores.

Las cualidades particulares de la ascendencia, ya sean la inmediata paterna o antecesores más lejanos, no tienen (en mi material) influencia sobre la índole del promedio de los descendientes, sino que es el tipo (por ejemplo la constitución genética) de la línea pura el que determina la naturaleza media individual en cooperación, desde luego, con la influencia del ambiente en un lugar y momento determinados (citado por Rose *et al.* 1983: 51).

Johannsen creía, como hemos visto, que la constitución genética (el genotipo) no era tanto la propiedad de un individuo, sino el promedio de la población. Esta creencia dio lugar a que se argumentara, ignorando parte de las pruebas aportadas por el propio Johannsen, que las líneas puras que se reproducían según el tipo hacían imposible la selección y el cambio, o al menos no eran efectivas como mecanismo de la evolución.

Fueron los experimentos realizados en Harvard por William E. Castle (1867-1962) en ratas¹² y en Suecia los de Heinrich Nilsson-Ehle (1873-1949) en cereales¹³ los que demostraron por primera vez que la variación mendeliana podía ser una fuente de pequeñas variaciones, que luego serían objeto de selección. Estos experimentos mostraban que había múltiples factores involucrados en los caracteres y, por tanto, el número de segregaciones posibles era muy grande.¹⁴ Esta consecuencia es de suma importancia, puesto que (y aquí vamos a expresarnos en términos actuales) indica que muchas mutaciones que pudieran considerarse como tales son, en realidad, agrupaciones de factores ya presentes. Otra consideración, que se extrae de esta consecuencia, es que uno de los principales objetos de la

12 William E. Castle demostró en 1905, a través de experimentos, que en ratas era posible la selección de los caracteres. El experimento de Castle consistió en seleccionar durante sucesivas generaciones ratas de distinto pelaje, consiguiendo después de cinco generaciones un cambio que no mostró regresión con el promedio paterno.

13 Heinrich Nilsson-Ehle demostró en 1909 como algunos caracteres del trigo pueden depender de varios pares de alelos segregados independientemente. Nilsson-Ehle cruzó semillas rojas y blancas que correspondían a distintas razas de trigo, y después observó las proporciones de los caracteres en la segunda generación.

14 Por ejemplo, Nilsson-Ehle mostró que en los casos donde no había dominancia, o la misma no era completa, 10 factores independientes podían dar lugar aproximadamente a 60 000 formas diferentes, y cada una de ellas con un genotipo diferente.

reproducción sexual es incrementar la posibilidad de recombinación genética sobre la que actúa la selección natural.

5.3 Una habitación con moscas

Los experimentos realizados en el primer decenio del siglo XX se vieron sujetos fuertemente al condicionante temporal, y al número de individuos que podían ser investigados. En efecto, las investigaciones que se efectuaban resultaban extremadamente lentas, ya que los ciclos de reproducción de las diferentes especies estudiadas no eran rápidos, y que el nivel técnico de los laboratorios de la época sólo permitía estudiar un número relativamente pequeño de individuos. Esto trajo como consecuencia que la obtención de resultados estadísticos válidos fuera extremadamente difícil.

La solución a este problema se alcanzó con la elección de una especie que, dada su rapidez de reproducción y crecimiento, permitió examinar los cambios de caracteres producidos por distintos cruzamientos, o por el cambio de condiciones ambientales provocadas en un tiempo relativamente pequeño, y en una cantidad de individuos suficiente, desde el punto de vista estadístico.

La especie a la que hacíamos referencia en el párrafo anterior es la *Drosophila*, más comúnmente conocida como “mosca de la fruta”. Los individuos que pertenecen a esta especie se reproducen rápidamente (necesitan 10 días para la aparición de una nueva generación), y pueden almacenarse por miles en pequeños recipientes.

No fue hasta mayo de 1910 que esta especie, en la que se empezó a experimentar en la década anterior, rindió sus primeros resultados positivos a la genética. Fue en esa fecha cuando Thomas H. Morgan (1866-1945), que llevaba varios años trabajando en esa especie (y a cuyos individuos había expuesto a una amplia variedad de condiciones ambientales: sustancias alcalinas, ácidos, radiaciones, y rayos X con la intención de producirles mutaciones que transmitieran a su descendencia), vio a su primer individuo de *Drosophila* mutado. El ejemplar

masculino de *Drosophila* que miraba tenía los ojos completamente blancos, y como los ejemplares de esta especie suelen tener los ojos de color rojo, resultaba evidente que aquel individuo era un mutante, y uno al sexo.¹⁵ Ese día empezó la aventura de la habitación de las moscas, aventura que con el tiempo aportaría las soluciones a los problemas: del mapeado cromosómico, el ligamiento sexual, la disyunción y la mutación. En 1933 Thomas H. Morgan recibiría el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus trabajos con la *Drosophila*.

5.4 Mutaciones

La existencia de saltos imprevistos en la evolución, que habían sido observados por Hugo de Vries en la *Oenothera* (comúnmente conocida como hierba del asno), y que llamó mutaciones, constituía un caso aparte en la teoría ya aceptada de la evolución por pequeñas variaciones continuas, sobre las que actúa la selección sin necesidad de saltos imprevistos.¹⁶

Aunque Hugo de Vries había interpretado mal los resultados de su investigación,¹⁷ el concepto de mutación permaneció asociado a cambios que podían provocarse con la introducción de nuevo material de variación.

El problema que se planteaba era cómo observar esos cambios que se producían raramente, y además eran esencialmente aleatorios. Para ello se necesitaba que el material genético que se utilizaba fuera puro, un gran número de individuos para el examen, nuevos métodos de detección de las nuevas mutaciones, y métodos

15 Este mutante le sirvió a Morgan para realizar su primera ponencia relacionada con la *Drosophila* en julio de 1910, ponencia que fue publicada por la revista *Science*. En menos de dos años él y su grupo de investigación publicaron 13 trabajos acerca de 20 mutantes ligados al sexo. Entre estos trabajos destaca uno publicado en 1915, que ya es un clásico dentro de la ciencia genética, que lleva por título: “*The Mechanism of Mendelian Heredity*”. Puede consultarse en: <http://www.esp.org/books/morgan/mechanism/facsimile/title3.html>.

16 Esta teoría de la evolución había acabado imponiéndose mediante la demostración experimental de la segregación mendeliana de como se producía la recombinación, y del descubrimiento de la existencia de pequeños poligenes.

17 Lo que este científico consideró mutaciones que daban origen a variantes independientes eran, en realidad, segregaciones de series de *Haploides* completas. Ello era así porque la *Oenothera* es atípica y en todas sus razas naturales posee “heterocigosidad forzosa” como resultado de su complejo sistema letal, sistema asociado a gran cantidad de translocaciones cromosómicas.

exactos para analizar los tipos distintos de variaciones que se produjeran.

La *Drosophila* mostró ser el organismo más apropiado para resolver todos los condicionantes que limitaban el estudio de las mutaciones. Fue Herman J. Muller, un miembro del equipo de investigadores de la habitación de las moscas, quien en 1918 realizó por primera vez un seguimiento genético de las mutaciones espontáneas en los individuos de *Drosophila* que estudiaba.¹⁸ Muller estudió las mutaciones letales en el cromosoma X de la *Drosophila*.

Hacia 1927, este científico había demostrado que la exposición a rayos X podía aumentar la tasa de mutación unas 1,500 veces, respecto a la que se producía de forma natural. Este resultado, que había sido convenientemente contrastado, resultaba muy interesante para los investigadores, ya que disminuía el tiempo necesario para que se produjeran las mutaciones que querían observar, y además aumentaba la cantidad de diferencias que las mismas presentaban. El aumentar las posibilidades de que se produjeran mutaciones, y la cantidad en las diferencias que éstas tuvieran era importante a la hora de poder realizar mapeados más extensos de los cromosomas, determinar el comportamiento de los genes mediante una explicación materialista de la acción genética, y realizar estudios más precisos en genética de poblaciones.

18 El método empleado por H. J. Muller consistió en la utilización de un gen marcador que le permitió tener un modo seguro de identificar un cromosoma determinado. En sus experimentos también intentaba evitar que hubiera la incorporación de un nuevo gen por entrecruzamiento con un cromosoma homólogo. Controlando los factores señalados pasaba a realizar las combinaciones que le revelarían los cambios mutacionales.

5.5 Génesis de la genética molecular moderna

Durante mucho tiempo existió poco conocimiento acerca de los ácidos nucleicos.¹⁹ En ese periodo permaneció la creencia errónea de que mientras el Ácido Desoxirribonucleico (ADN) sólo se hallaba presente en animales, el Ácido Ribonucleico (ARN) se encontraba presente en plantas y microorganismos. Este error se mantuvo hasta finales de la década de los 30, en la que ya era totalmente aceptado por la comunidad científica del área que el ADN estaba presente en el núcleo de la célula, y unido estrechamente a ciertas proteínas, formando de esta forma un complejo núcleo-proteínico. Sin embargo, no se había avanzado demasiado en cómo estaba determinada la estructura del ADN y cuál era su composición. Se sabía, por ejemplo, que el ADN contenía cuatro bases: *adenina*, *guanina*, *citosa*, y *timina*; y que éstas se hallaban en proporciones regulares las unas con respecto a las otras.²⁰ A través de estos datos se hizo la suposición de que las bases formaban una secuencia repetida y regular; lo que condujo a los bioquímicos a creer en la década de los 40 que probablemente los ácidos nucleicos eran en realidad una sustancia inerte que, de una forma desconocida, protegía a la proteína del gen.

Para resolver estos problemas de conocimiento básico, había de nuevo que buscar otro organismo, uno que dada su menor complejidad permitiera evitar los obstáculos que habían presentado los organismos más complejos. Este organismo se encontró en los virus bacterianos (*fagos*). En el momento en que se iniciaron las investigaciones sobre ellos se desconocía todavía la manera cómo funcionaban, y existía discrepancia en torno a lo que eran. En este sentido, mientras unos

¹⁹ Recordemos que los mismos fueron aislados por primera vez por Friedrich Miesher (1844-1895), en Tübingen, en 1868, a partir de los núcleos del pus que recuperaba de vendajes quirúrgicos usados. Más tarde encontraría que esos ácidos nucleicos estaban presentes en todos los tejidos, y sobre todo en células con elevada proporción de núcleo respecto al citoplasma, como era el caso del esperma. Miesher, en una carta a su tío, sugería en 1895: “que grandes moléculas biológicas podían transmitir el mensaje de la herencia genética <<al igual que las palabras y conceptos de todos los idiomas pueden expresarse en las no más de veinticuatro a treinta letras del alfabeto>>. No obstante, como ejemplos de elementos transmisores citaba únicamente a las proteínas. No llegaría a conocer que la sustancia transmisora de la herencia genética era la que había descubierto con sus propias manos: el ADN” (citado por Shapiro, 1993: 27).

²⁰ Esto es justo lo contrario de lo que ocurre con la distribución de aminoácidos en las proteínas.

argumentaban que los *fagos* eran un tipo especial de enzima, otros opinaban que parecían “genes salvajes” que eran independientes de la célula y capaces de replicarse, e incluso que podían cristalizarse.

Existía, todavía a finales de la década de los 40, mucha incertidumbre sobre la estructura del ADN. Además se creía que la molécula de ADN no era lo suficientemente compleja como para servir de transporte de la información necesaria que se requería para dirigir la síntesis de las proteínas.

En 1937, en el laboratorio Cavendish, de Cambridge; Max Perutz, utilizando rayos X emprendió la ingente tarea de averiguar la compleja estructura de la enrollada y globular proteína llamada hemoglobina.²¹ Pero para determinar la compleja estructura de la hemoglobina, a Perutz le faltaba un dato esencial que no apareció hasta 1950. Este dato, que se refiere a la disposición en que debe hallarse la cadena molecular, se halló en el laboratorio dirigido por el químico Linus Pauling en Pasadena, California. Pauling propuso para las proteínas globulares, un modelo en el que en lugar de estar dispuestas en hojas bidimensionales, la cadena molecular era tridimensional y se enrollaba, para formar una hélice “a”, parecida a un muelle.

El modelo de Linus Pauling de la hélice “a”, y el trabajo de Max Perutz suelen considerarse, con razón, los precursores de las investigaciones iniciadas alrededor de 1950 sobre la estructura del ADN. Dos equipos representante de dos escuelas distintas de biología molecular empezaron a trabajar, a principios de la década de los 50, intensamente para hallar dicha estructura. El primero de ellos que estaba situado en el King’s College de Londres, y estaba dirigido por Maurice Wilkins, puede considerarse que pertenecía a la escuela estructural; el segundo de ellos situado en el laboratorio Cavendish de Cambridge, lo formaban los investigadores James Watson y Francis Crick; puede considerarse que éste pertenecía a una escuela que estaba más interesada en lo que después se conocería

²¹ Max Perutz no completaría su proyecto hasta 1959. De la complejidad de la estructura de la hemoglobina da buena cuenta el número de aminoácidos que la forman. Al respecto, y a modo de ejemplo, mientras la insulina (que fue la primera proteína secuenciada, en 1955) está formada por 51 aminoácidos, la hemoglobina lo está por casi 600.

como “contenido informativo de las macromoléculas”, que en la estructura propiamente dicha.

5.6 La estructura molecular de los ácidos nucleicos

El descubrimiento de la estructura molecular de los ácidos nucleicos constituye, sin duda, uno de esos hitos históricos de la ciencia que producen un avance cualitativo en la disciplina que lo proporciona, al tiempo que posibilita un desarrollo importante al área de conocimiento al que pertenece. Por decirlo de otra forma, es uno de esos puntos de inflexión que cierran un periodo y abren otro. Es por ello que con él vamos a cerrar este capítulo dedicado a la introducción histórica de las nuevas biotecnologías.

En el descubrimiento de la estructura del ADN se dieron circunstancias atípicas dentro del mundo científico que hacen que éste, a parte de su importancia indudable y trascendental, no sea precisamente el ejemplo perfecto de cómo se producen los avances científicos en las sociedades modernas. En primer lugar, tuvo que producirse un planteamiento de disciplinas tan alejadas entre sí como la física, la genética y la química; en segundo lugar, el carácter singular de los protagonistas de la invención; en tercer lugar, la forma tan alejada de la ortodoxia científica que llevó al descubrimiento. Nos referimos aquí al hecho de que los descubridores de la estructura del ADN no realizaron ningún experimento, y a que los datos que refrendan dicha estructura los extrajeron gracias al enfrentamiento personal entre dos de los miembros más importantes (Maurice Wilkins y Rosalind Franklin) de lo que podríamos llamar grupo de investigación de la competencia, mismo que además poseía el mejor trabajo de rayos X sobre el ADN.

Tanto James Watson como Francis Crick estaban convencidos cuando iniciaron el trabajo que les llevó a descubrir la doble hélice, que el ADN era la materia de la que estaban formados los genes, era el momento adecuado para abordar su estructura tridimensional, y ello debía de hacerse a la manera de Pauling. En ese convencimiento de ambos, jugaron un papel muy importante el libro de

Erwin Schrödinger *Qué es la vida*,²² el trabajo de O.T. Avery, junto a Macleod y McCarty, sobre el agente transformador del *Pneumococcus*,²³ los trabajos de Linus C. Pauling sobre la estructura proteica en hélice,²⁴ y el experimento de Alfred Hershey y Martha Chase que demostró que en determinadas infecciones víricas, lo único que lograba penetrar en la célula infectada era el ADN, pero no la proteína.

No cabe duda de que la aportación de Watson y Crick para que se descubriera la estructura del ADN, fue muy importante. Pero no es menos cierto que los datos estructurales a partir de la diferenciación de los rayos X, y el papel clave de las moléculas del ADN en genética, ya habían sido establecidos antes de que estos autores iniciaran su trabajo. Es por ello que dicho descubrimiento no cabe atribuirlo a la genialidad de ambos científicos, sino más bien al resultado lógico de varias décadas de trabajo en los laboratorios de investigación.

Recordemos que ambos autores se encontraban en el lugar adecuado para recopilar los datos que necesitaban. Fue en Cambridge donde se descubrió la estructura química del ADN, además Francis Crick era amigo personal de Maurice Wilkins, entonces el director del laboratorio del Kings College de Londres donde se estaba realizando el mejor trabajo de cristalografía de rayos X referido al ADN.

Otra clave importante para el descubrimiento de Watson y Crick fue la obra de Erwin Chargaff, en ésta se analizaba minuciosamente las proporciones de las bases adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T). En este trabajo Chargaff demostró que las proporciones de estos cuatro elementos no eran iguales, sin embargo la cantidad presente de (A) era siempre igual a la de (T), y la de (G) a la de (C). Fue de gran ayuda para los descubridores de la estructura

22 Schrödinger consideró en este libro que, de alguna manera, la información que se necesitaba para la conservación y preservación, a través de las generaciones, de los caracteres necesarios para mantener la estabilidad de los organismos vivos se debía a lo que él denominó código hereditario.

23 Este trabajo demostró que el ADN, y no las proteínas, era el agente transformador del *Pneumococcus*. O.T. Avery llegó a la conclusión de que era el ADN y no las proteínas el material genético.

24 Pauling propuso para las proteínas globulares un modelo en el que en lugar de estar dispuesta en hojas bidimensionales la cadena molecular era tridimensional y se enrollaba formando una hélice “ α ” parecida a un muelle.

del ADN que Chargaff, de visita por Inglaterra, les aclarara algunas dudas que les habían quedado de la lectura de su obra. Los datos aportados por Chargaff son fundamentales en el modelo final.

Otro de los aspectos importantes para la construcción del modelo, lo constituyó la información sobre la pauta de difracción de los rayos X del ADN. Watson y Crick no tenían acceso directo a esta información. A principio de los años 50, el mejor trabajo sobre esa materia se estaba realizando en el laboratorio de Maurice Wilkins en Londres. Wilkins había contratado a Rosalind Franklin; ella, con ayuda de un asistente, logró obtener los mejores modelos de rayos X del ADN realizados hasta la fecha. Desgraciadamente para Maurice Wilkins y Rosalind Franklin, una disputa personal les impidió ser ellos quienes descubrieran la estructura del ADN. Después de convencer a Rosalind Franklin que dejara su laboratorio, Maurice Wilkins estrechó su colaboración con Watson y Crick. En este sentido:

Finalmente en 1953, Wilkins mostró a Watson una de las mejores fotos de rayos X de la Franklin. Perutz les había pasado uno de sus informes de investigación. El informe no era confidencial, pero tampoco se le dio demasiada publicidad. No habría llegado a sus manos en caso de no haber formado parte de una red interna. Al analizar el informe, Crick vio en él los rasgos o características clave de la forma del ADN que Franklin no había sabido ver. Tenía una forma de hélice después de todo, pero con dos cadenas en lugar de una. Además, las cadenas iban en direcciones contrarias (Shapiro, 1993: 71).

Después de los datos aportados por Chargaff y la información dada por Maurice Wilkins, quedaba tan solo una característica clave por descubrir para completar el modelo: ¿cómo interaccionaban las cuatro bases (A), (C), (G) y (T)? El descubrimiento de la interacción de las mismas fue totalmente casual. Watson estaba esperando a que le llegaran las placas de metal necesarias para modelar las distintas formas en que se podrían conectar unas bases con otras. Como se

aburría, recortó trozos de cartón con los que se puso a jugar, jugaba a combinarlos y encajarlos. En eso estaba, cuando se dio cuenta de que (A) y (T) encajaban, formando una pareja, al igual que (G) y (C) podían acoplarse de la misma forma y con exacta geometría. Estas combinaciones explicaban perfectamente las reglas de Chargaff. Watson había hallado de esta forma el modelo de pares de bases, y con ello estaba completo el modelo de estructura del ADN. Era la mañana lluviosa del 28 de febrero de 1953.

5.7 Relación de descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos producidos en el ámbito de las nuevas biotecnologías y la genética (1953-2001)²⁵

Sería demasiado prolijo enumerar todos los descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos que, desde el descubrimiento de la estructura del ADN hasta nuestros días, se han producido. Sin embargo, una relación resumida y cronológica de los más importantes, creemos que ayudará al lector a situar mejor los conocimientos y técnicas que permiten las aplicaciones de las nuevas biotecnológicas que abordamos en este capítulo.

La relación cronológica que presentamos a continuación se basa en datos extraídos del artículo de Serra (1998), de los artículos de Isabel Ferrer (1999 y 2000) y *El País* (12 de febrero de 2001).

1953: James Watson y Francis Crick descubren la estructura molecular de los ácidos nucleicos. Se descubre el virus *Sendai*, utilizado en los laboratorios para favorecer la fusión entre membranas de células distintas.

1954: J.F. Enders y T.H. Weller consiguen cultivar en una probeta el virus de la poliomielitis, a partir de cultivos celulares fetales de riñón.

²⁵ Terminamos esta revisión de los principales avances de la biotecnología, justo cuando se presentó el mapa del genoma humano. Los avances desde entonces han sido espectaculares, y algunos de sus desarrollos más importantes y posibilidades de futuro las veremos en el capítulo siguiente.

- 1957: A. Kornberg identifica el ADN de la *polimerasa*, la enzima que duplica la doble hélice del ADN.
- 1958: A partir de células aisladas de raíces de zanahoria se estimula un proceso de regeneración, que lleva a la formación de raíces de zanahoria completas.
- 1960: Se descubre el ARN mensajero (ARNm), cuya misión es la transferencia de la información contenida en el ADN hasta el aparato que fabrica las proteínas.
- 1961: F. Jacob y J. Monod proponen un modelo de regulación de los genes basado en la actividad inhibidora de determinadas proteínas.
- 1965: Se consigue por primera vez cultivar en una probeta ovocitos humanos hasta que alcanzan la madurez.
- 1966: G. Khorana y M. Nirenberg descifran el lenguaje del código genético: la lectura del ADN se produce en grupos de tres bases (tripletas).
- 1967: Se descubre el *ADN ligasa*, la enzima que suelda las moléculas de ADN.
- 1970: G. Khorana sintetiza de forma química el primer gen. H. Smith y D. Wilcox descubren las enzimas de restricción (que cortan el ADN).
- 1972: En Stanford, P. Berg produce la primera molécula de ADN recombinado, obtenida mediante el corte y posterior unión de dos fragmentos distintos de ácido nucleico. Esta molécula era un plásmido.
- 1975: Se desarrolla la técnica para secuenciar el ADN. Con este sistema se puede leer la sucesión de bases de un fragmento y constatar la presencia de posibles mutaciones. C. Milstein y G. Kohler crean los primeros hibridomas, células derivadas de la fusión de células tumorales humanas y linfocitos de ratón, que producen anticuerpos monoclonales, es decir, específicos contra un gen determinado.
- 1976: Se produce la primera proteína humana recombinada. La *somatropina*, un pequeño péptido de 14 aminoácidos con funciones neurotransmisoras.
- 1977: Clonación del primer gen defectuoso, el causante de la anemia falciforme. Se descubren los genes interrumpidos, lo que significa que no todo el ADN

de un gen sirve para producir la correspondiente proteína; tan solo los denominados *exones*, es decir, las partes que son transcritas en el ARN mensajero. Los *intrones* (partes inútiles en apariencia) son eliminados del ARN.

1978: La empresa estadounidense Genetech utiliza bacterias para producir insulina humana recombinada, se comercializará cuatro años después. En el Instituto Max Planck se produce el *pomato*, un híbrido entre patata y tomate.

1980: Genetech produce con técnicas de ingeniería genética la *calcitonina* recombinada, una hormona que ayuda a la retención de calcio en los riñones. C. Weissmann y su equipo consiguen producir un fármaco (el interferón) a partir de bacterias. Poco después otros científicos obtuvieron resultados similares. M. Cline intenta en secreto, el primer experimento de terapia génica, introduciendo genes modificados en el interior de la médula de dos enfermos de talasemia (enfermedad de la sangre).

1982: R. Palmiter y R. Brinster crean el primer animal transgénico introduciendo la hormona del crecimiento de la rata en un ratón, nacen los superratones. La empresa norteamericana Calgene clona el gen responsable de la resistencia de un herbicida muy usado en agricultura, en plantas manipuladas genéticamente. J. Kemp y T. Hall obtienen el *Sunbean* (híbrido del girasol y de la judía), utilizando la bacteria *agrobacterium tumefaciens* como vehículo de transferencia del gen.

1983: K. Mullis pone a punto la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) que permite amplificar, es decir multiplicar enormemente, secuencias de ADN. El inglés A. Jeffreys descubre que el ADN de cada individuo, cuando es tratado con las enzimas de restricción adecuadas, produce fragmentos característicos de cada persona y que, por lo tanto, sirven como verdaderas huellas digitales moleculares.

1987: T. Stuart y P. Leder crean el *Oncomouse*, un ratón transgénico que contiene un gen que lo lleva a enfermar de cáncer. Crecen los primeros tomates

- transgénicos.
- 1988: Se inicia la andadura del Proyecto Genoma Humano, con el fin de identificar todos los genes que forman el ADN del ser humano. La fecha prevista para la conclusión de los trabajos es el año 2005. Se patenta oficialmente el *Oncogene*.
- 1989: En el cromosoma 7 se identifica y clona el gen de una de las enfermedades hereditarias más extendida: la fibrosis quística.
- 1990: En Estados Unidos de Norteamérica se lleva a cabo el primer tratamiento oficial de terapia génica. La paciente es una niña afectada por la falta de la enzima *adenosina deaminasa* (ADA).
- 1993: Se identifica el gen responsable de otra enfermedad hereditaria: el corea de Huntigton.
- 1994: La FDA estadounidense (Food Drug Administration) concede a la empresa Calgene el permiso para comercializar los tomates transgénicos de maduración retardada.
- 1996: En el Instituto Roslin de Edimburgo nace Dolly, la primera oveja clonada. El núcleo de una célula adulta (y por lo tanto ya diferenciada) de la mama fue introducido en un óvulo. El embrión se desarrolló con total normalidad, demostrando que el ADN puede ser reprogramado.
- 1997: Se introducen en una célula los primeros microsomas artificiales que resisten durante más de seis meses, comportándose como verdaderos cromosomas naturales, lo que abre nuevas y amplias perspectivas para la curación de enfermedades genéticas.
- 1998: Nacen tres terneros clonados a partir de células inmaduras. La famosa oveja Dolly da a luz al cordero Bonnie, demostrando que no es estéril. Nacen 50 ratones clonados de células ováricas (de ellos, algunos son clones de otros clones anteriores). Esta técnica fue desarrollada por la Universidad estadounidense de Honolulu (Hawai). Científicos estadounidenses logran cultivar en el laboratorio células humanas que son luego capaces de

diferenciarse para producir cualquier tipo de tejido adulto. Uno de los equipos obtuvo las células a partir de embriones formados por fecundación *in Vitro*; y el otro, a partir de embriones abortados tras cinco o nueve semanas de gestación.²⁶ Estos dos experimentos permiten producir tejidos como el músculo, la piel o el hueso, pero en ningún caso generan órganos completos. Aun cuando se resuelvan los problemas técnicos que dificultan de momento la creación de un banco de tejidos, estos avances no servirán para trasplantar órganos enteros, pero sí para repararlos mediante la implantación de tejidos sanos y funcionales. Una empresa de EE UU, la Advanced Cell Technology, admite haber clonado células humanas usando núcleos de las células de sus empleados mezclados con óvulos de vaca. Se descifra por primera vez el genoma completo de un animal, se trata del pequeño gusano *Caenorhabditis elegans*. El proyecto que posibilitó este desciframiento estaba dentro del macroproyecto del Genoma Humano, y fue llevado a cabo por el Sanger Center de Cambridge, Reino Unido; y dirigido por John Sulston y el Genome Sequencing Center de la Universidad de Washington en Saint Louis, Estados Unidos, bajo las ordenes de Robert Waterston, ambos financiados con fondos públicos. En noviembre, John Thomson y su equipo de la Universidad de Wisconsin, Madison, Estados Unidos, presentan un experimento en el que se muestra que es posible obtener, a partir de embriones humanos de pocos días, cultivos de células madre que pueden diferenciarse para producir cualquier tipo de tejido adulto, tejido que posteriormente puede usarse para trasplantes. Un informe oficial británico alerta sobre los riesgos medioambientales de los transgénicos.

2000: El Reino Unido aprueba la clonación de embriones con fines médicos en una votación en la Cámara de los Comunes, en la que 366 votos fueron a

26 El primer experimento fue dirigido por James Thomson de la Universidad de Wisconsin, Madison, Estados Unidos; y el segundo por John Gearhart del departamento de Obstetricia y Ginecología de la Universidad Johns Hopkins en Baltimore, Maryland, Estados Unidos.

favor y 174 en contra. Se trata con ello de obtener células madre capaces de convertirse en cualquier tejido del organismo. Sin embargo, la clonación con fines reproductivos sigue prohibida

2001: En febrero de ese año, Francis Collins, director del Consorcio Público del Proyecto Genoma Humano; y Craig Venter, presidente de la empresa Celera Genomics; presentaron conjuntamente sus respectivos primeros borradores del mapa del genoma humano. En éstos, el número final de genes que contiene el genoma fue rebajado sustancialmente, de los 100,000 que se barajaban como hipótesis inicial al inicio del Proyecto Genoma Humano pasó a algo más de 30,000.²⁷ La publicación del primer borrador del genoma humano hecha por el consorcio público se publicó en *Nature*, mientras que la de Celera Genomics se presentó en *Science*.

²⁷ Más adelante hablaremos con mas detalle de las sorpresas que contienen estos primeros borradores del genoma humano.

CAPÍTULO 2

Aplicaciones de las nuevas biotecnologías

1. Nuevas biotecnologías en microorganismos

Los microorganismos han sido utilizados por el Hombre hace miles de años. Productos tan importantes como el queso, el pan, y las vacunas contra enfermedades infecciosas tienen su origen en la manipulación de los microorganismos. Esta manipulación, que en algunos casos, como los que se producen por procesos de fermentación, no fue realizada de forma consciente durante un largo periodo de tiempo. Lo que han hecho las nuevas biotecnologías, ha sido aumentar la capacidad de intervención del ser humano en los microorganismos y posibilitar, por tanto, una mejora sustancial de los procesos tradicionales que ya los utilizaban. No olvidemos a este respecto que: “la mutagénesis con agentes físicos o químicos, denominada hoy día clásica, posee los inconvenientes derivados de la falta de control que implica un método al azar. (Rubio, 1994: 140).

Actualmente existe una gran variedad de microorganismos que pueden ser manipulados genéticamente, de éstos la *Escherichia coli* como bacteria; y la *Saccaromyces cerevisiae*, como hongo, se consideran los más importantes.²⁸

Los microorganismos son de gran interés para las nuevas biotecnologías ya que son *eucarióticos*,²⁹ lo que permite, a través de la división celular meiótica, la transmisión del material genético a las células hijas. Existe un gran conocimiento

28 Las bacterias y los hongos son los microorganismos que más utiliza la biotecnología.

29 La eucariota se define como: “Célula con un elevado grado de organización en la que el material genético se halla encerrado por una membrana formando un núcleo diferenciado. El ADN nuclear está asociado con proteínas y se presenta en estructuras definidas (cromosomas), visibles durante la división celular. La masa celular contiene otros orgánulos, como mitocondrias o cloroplastos (donde se lleva a cabo el metabolismo respiratorio y fotosintético). Todos los eucarioritas necesitan oxígeno para su desarrollo” (Coombs, 1989: 140).

de los mismos a través de la genética clásica y la fisiología. Se han desarrollado los sistemas de transformación que los utilizan, se han desarrollado vectores de expresión regulares, y tecnologías de reemplazamiento y conversión para ellos. Además, existe una gran experiencia en procesos de fermentación, procesos de purificación a gran escala, y los cultivos en los que crecen no son caros.

De los microorganismos, los hongos filamentosos resultan especialmente interesantes para las nuevas biotecnologías, puesto que tienen una enorme capacidad secretora, el procesamiento y glicosilación ligados a secreción son muy similares a los de plantas y animales, como también ocurre en el procesamiento de ARN, y existe una gran variedad de ellos con características adecuadas para diferentes fines.

También resultan especialmente interesantes las levaduras, porque tienen formas unicelulares más fáciles de manejar, segregan menos *proteasas* y hay una gran experiencia en su uso como sistemas de expresión.³⁰

Las nuevas biotecnologías han incidido de forma importante en los ámbitos alimenticios y de la biodegradación de la contaminación. En el primero de ellos ha sido la necesidad de sustituir los aditivos químicos por otros más naturales, lo que ha llevado a desarrollar metabolitos microbianos que pueden usarse como ingredientes naturales en alimentos. Si bien es cierto que algunos de ellos se hallan en la naturaleza en cepas microbianas, no lo es menos que la ingeniería genética ha contribuido decisivamente a mejorarlos y a crear algunos nuevos. El cuadro que presentamos a continuación nos da una idea clara de la importancia que se está dando en la actualidad a la utilización de cepas microbianas en los ingredientes alimenticios.

30 Una tabla sobre las ventajas comunes y no comunes que como sistemas de expresión, utilizados por las nuevas biotecnologías, tienen las levaduras y los hongos filamentosos lo podemos encontrar en V. Rubio (1994: 145).

Cuadro 1. Producción microbiana de ingredientes alimenticios.

Ingrediente	Función	Productor
Ácido acético	Acidulante	<i>Acetobacter Pasteurianus</i>
Diacetilo	Aroma a mantequilla	<i>Leuconostoc cremoris</i>
Dextranos	Espesante	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
Ácido glutámico	Potenciador de sabor	<i>Corynebacterium glutamicum</i>
Leucina	Nutriente	<i>Brevibacterium lactofermenti</i>
Metilbutanol	Aroma a malta	<i>Lactococcus lactis</i>
Monascina	Pigmento	<i>Monascus purpureus</i>
Nisina	Antimicrobiano	<i>Lactococcus lactis</i>
Fenilalanina	Precursor de edulcorante	<i>Bacillus polimyxa</i>
Vitamina B12	Nutriente	<i>Propionibacterium sp.</i>
Xanthan	Espesante	<i>Xanthomonas campestris</i>

Fuente: Domínguez (1994:181)³¹

El segundo de los ámbitos señalados, el de la biodegradación de la contaminación, está produciendo aplicaciones tan prometedoras como el control y/o tratamiento de las emisiones, o bien la remediación *in situ* de las áreas contaminadas. En efecto, gracias a su gran diversidad metabólica, que les permite utilizar como fuente de carbono y energía una gran variedad de compuestos naturales y sintéticos, los microorganismos participan en los ciclos bioquímicos y geoquímicos, actúan en sus rutas catabólicas, y a través de esta actuación llegan a biodegradar o detoxificar compuestos contaminantes.

Existen límites, sin embargo, a la capacidad microbiana de biodegradar o detoxificar. Estos límites hay que situarlos en la eficacia de las rutas catabólicas, y en la capacidad de los procesos microbianos de remineralización. Es decir:

31 Extraído de B. Wasserman, T. MontVile y E. Korwek, "Food biotechnology. A Scientific Status Summary by the Institute of Food Technologists". *Expert Panel on Food Safety and Nutrition Food Technology*, vol. 42, n° 11, 1991, p. 133.

Desde un punto de vista evolutivo, la aparición reciente de nuevos compuestos o la movilización a formas bioactivas de los ya existentes plantea el problema de su integración en los grandes ciclos naturales de regeneración de los elementos, mediados por microorganismos de distinto tipo [y ello porque...] Aunque en muchos casos existe el potencial genético y enzimático para que con una presión selectiva prolongada se generen rutas con nuevas especificidades catabólicas, éstas pueden no aparecer lo suficientemente rápido o no ser lo suficientemente eficaces (De Lorenzo, 1994: 124).

Actualmente los microorganismos más interesantes en las actividades detoxificadoras son los que pertenecen al género de las *Pseudomonas* y a sus parientes *Alcaligenes*, *Rhizobium*, *Rhodobacter*, *Arthrodobacter* y *Xanthomonas*. Estos microorganismos poseen una gran adaptación al medio, debido a su capacidad de utilizar variedades de compuestos químicos como fuentes de carbono, y además sobreviven en muchas ocasiones a condiciones físicas adversas. Otra de las ventajas que hay que consignar en su haber, es que su manipulación genética resulta relativamente sencilla con las herramientas biotecnológicas que ya se poseen.³²

La contaminación medioambiental puede ser clasificada por los distintos tipos de contaminantes que en ella intervienen. Una clasificación de éstos, que atañe a sus características claramente diferenciadas, nos sugiere la división de aquélla en tres grandes grupos: la que producen los metales pesados, la que producen los compuestos *xenobióticos* y la que producen las fuentes de energía fósiles.

Destacar que son los iones metálicos de los elementos pesados los que constituyen el tipo de contaminación más grave que sufre el planeta, ya que sus efectos de contaminación superan en cuantía a la suma de todos los demás tipos de contaminantes: elementos químicos, compuestos *xenobióticos*, radiaciones, etcétera. Entre los metales pesados más contaminantes destacan, por su impor-

³² Entre las mismas destacan: las replicaciones de amplio espectro, las técnicas sobre fagos, transposones y vectores de clonaje de distinto tipo.

tancia, los referidos al mercurio (Hg), cadmio (Cd), cinc (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb), cobalto (Co), y Arsénico (As).

La biodegradación de componentes *xenobióticos* es otra de las áreas donde las nuevas biotecnologías aplicadas a microorganismos tienen un futuro más prometedor. Así como los compuestos naturales se degradan con relativa facilidad, las especies químicas *xenobióticas* son muy tóxicas y se resisten a la actuación de las enzimas microbianas. Esto tiene como consecuencia que esas especies se degraden muy despacio o no lleguen a degradarse. Además sus moléculas tienden a acumularse, con lo que generan graves problemas de contaminación. Sin embargo, hay especies químicas *xenobióticas*, como diversos hidrocarburos alifáticos y aromáticos, que producen una contaminación susceptible de ser tratada con algunos microorganismos que son capaces de utilizarlas como fuente de carbono.

El último grupo de contaminantes que vamos a tratar aquí, incluye las principales fuentes de energía fósiles, carbón y petróleo. Las nuevas biotecnologías relacionadas con los microorganismos tienen ya un papel importante para biodegradar algunos de sus componentes químicos más peligrosos desde el punto de vista de la contaminación medioambiental, sobre todo CO₂ y H₂O (óxidos de azufre, y nitrógeno) que desprenden en su combustión. Estos componentes son muy perjudiciales, ya que son los causantes de “lluvias ácidas” que devastan los ecosistemas vegetales. En la actualidad se conocen varios microorganismos o comunidades microbianas que son capaces de eliminar en una proporción bastante elevada, el azufre orgánico del carbón y del petróleo. Sin embargo, todavía no se tiene el suficiente conocimiento sobre las rutas metabólicas en el proceso de biodegradación que aquéllos llevan a cabo.³³

33 Ello no quiere decir que no exista ningún conocimiento sobre estos procesos de biodegradación microbiana. Incluso algunas de las rutas de biodegradación se han estudiado y analizado con detalle. Es el caso, por ejemplo, de las bacterias *Gram negativas* y especialmente de las *pseudomonas*.

2. Nuevas biotecnologías en plantas

Las nuevas biotecnologías abren con relación a las plantas, inmensas posibilidades. En general les confieren resistencia a un parásito, virus, bacteria hongo, o a devoradores como insectos y gusanos nematodos;³⁴ las convierten en resistentes a un herbicida, y hacen que pierdan la fertilidad de su polen, consiguiendo de esa forma un mayor rendimiento en la producción de plantas. También a través de la introducción de genes se las puede enriquecer con un compuesto útil (aceite o proteína); o disminuir las cantidades de algún compuesto que, hallándose en plantas destinadas al consumo humano (lechuga, tabaco, espinacas, etcétera), pueda ser de alguna forma perjudicial para la salud humana o el medio ambiente; el ejemplo más claro de esto lo constituyen los nitratos. Las nuevas biotecnologías, sobre todo la ingeniería genética, permiten inducir una pigmentación concreta para las flores; crear plantas transgénicas resistentes al frío, al hielo, a la sequía, a los suelos salados o cargados de metales pesados, o que son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, como es el caso de algunas leguminosas; e incluso hacer plantas capaces de producir algunos compuestos farmacéuticos.

Las posibilidades destacadas en el párrafo anterior son posibles gracias a que tanto las plantas como los demás seres vivos, independientemente de sus diferencias de constitución, hablan un mismo lenguaje genético. Este lenguaje que es el de todos los seres vivos, y cuyas reglas se inscriben en el código genético, contiene algunas excepciones. Algunos virus tienen un lenguaje ligeramente diferente: sus códigos genéticos se basan en el Ácido Ribonucleico (ARN), y no en el Ácido Desoxirribonucleico (ADN). Esta dificultad, que en principio haría incompatible la transmisión de genes de estos virus a los demás seres vivos, se soluciona con relativa facilidad, gracias a que en las células existen enzimas que son capaces de retrotranscribir el ARN vírico en ADN.

El hecho de que los distintos seres vivos hablen el mismo lenguaje, o un

34 Ejemplo de esto lo constituyen experimentos realizados por la compañía belga Plant Genetic Systems, publicados en abril de 1986, que mostraron que algunos genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis* hacen que la planta produzca toxinas eficaces contra insectos parásitos.

lenguaje fácilmente retrotranscribible, como en el caso de algunos virus, abre la posibilidad de extraer un gen cualquiera de un ser vivo, y que éste pueda ser insertado en otro organismo donde funciona con toda normalidad, y conforme a lo que se espera de él fabrica la proteína que codifica en el organismo en el cual fue insertado. Sin embargo, esto no implica que no existan dificultades en la transmisión de genes entre distintos seres vivos. En la práctica no resulta nada simple que la transmisión de genes de unos seres vivos a otros se lleve a cabo con éxito. En muchas ocasiones los genes transmitidos necesitan que se les añadan conjuntos de instrucciones que les permitan expresarse en los organismos donde se insertan. Este es un problema que se está resolviendo gracias a la identificación de esas instrucciones. Existen otros problemas cuya solución resulta más difícil. Ejemplos de ellos son las relacionadas con la inserción del gen en el lugar concreto que permita su expresión con las máximas garantías, las relaciones del gen introducido con el organismo en que se introdujo, relaciones que pueden alejarse de los efectos previstos y conducir a situaciones que es necesario controlar. Por otro lado, existen funciones interesantes relacionadas con los genes cuya expresión es plurigenética, y en las que resulta extremadamente complicado dado el nivel de conocimiento y técnicas actuales, realizar transferencias de un ser vivo a otro con las mínimas garantías de éxito.

2.1 Nuevas biotecnologías aplicadas a la mejora de plantas

Uno de los campos más favorecidos, si no el que más, por la capacidad de transferencia genética que permiten las nuevas biotecnologías, es el de las plantas, mas concretamente el de las plantas utilizadas por la agricultura, las llamadas “plantas transgénicas”.³⁵ Ello es así porque dicha transferencia permite

35 En la actualidad existen ya varias plantas transgénicas que han pasado de su etapa experimental en laboratorio a probarse en campo abierto. Es el caso de las plantas del: tabaco, soja, colza, maíz, chicoria, patata, remolacha, tomate (del cual ya existe algún producto, como el puré de tomate, en el mercado), y de la flor del clavel. Una relación de estas plantas transgénicas, cuya diseminación a cielo abierto ha sido autorizada, o está en proceso de autorización, por la Unión Europea la podemos encontrar en Ernst and Young (1998).

aumentar la calidad y cantidad de los cultivos, y dotar de nuevas características a los productos que de ellos se obtienen; y esto además lo hace de una forma más rápida, económica y precisa que la obtenida por la mejora tradicional de plantas. Las mejoras señaladas tienen cada vez más importancia para el diseño de plantas que produzcan, con cualidades predeterminadas y deseadas, productos alimenticios para humanos y animales. Un ejemplo de lo que aquí decimos lo constituye un alimento transgénico que desde mayo de 1994 está a disposición de los consumidores norteamericanos: el tomate transgénico. A este tomate se le dota de un mayor contenido en sólidos, lo que permite disminuir el coste de su transporte y concentración; también se le extrae la *poligalacturonasa*, lo que posibilita que tenga una mayor vida media, un aroma afrutado, y una menor necesidad de refrigeración. Una de las ventajas que desde el punto de vista del consumidor más se aprecian en este tomate transgénico es que sigue duro varias semanas después de la cosecha, con lo que su tiempo de conservación es superior al tomate no transgénico. Otro ejemplo, esta vez localizado en Europa, lo constituye la introducción en el mercado agrícola, con objeto de probar sus propiedades en condiciones naturales, de un tabaco transgénico resistente a un herbicida.³⁶ La ventaja de la planta transgénica de tabaco a la que hacemos referencia, respecto a la no transgénica, es su mayor resistencia al herbicida que en ambos casos es utilizado para combatir a las malas hierbas que la afectan. El maíz y la colza son otros dos ejemplos en los que la ingeniería genética ha permitido mejorar la calidad nutritiva de los productos obtenidos de sus plantas respectivas. En el maíz, esto se ha hecho consiguiendo un mayor nivel de ciertos aminoácidos, y en la colza a través de obtener un menor nivel de los ácidos grasos saturados que en ella se encuentran.

Las tendencias actuales en nuevas biotecnologías aplicadas a plantas están muy próximas a lo que podríamos definir, aun a riesgo de caer en una excesiva generalización y adelanto en el tiempo, como “plantas de diseño polivalentes”.

³⁶ El cultivo de este tabaco transgénico en campo abierto fue autorizado por la Comisión de la Unión Europea en julio de 1994.

Resulta claro que todas las características asociadas a genes que redunden en un mayor aprovechamiento de las plantas serán, tarde o temprano, investigadas y desarrolladas. No es difícil imaginar escenarios futuros en los que los Centros Públicos de Investigación y las empresas relacionadas con este ámbito reúnan los genes productores de características deseadas, y que éstos le sean introducidos a una planta a fin de dotarla de ellas. De esta forma, las plantas podrán al mismo tiempo, por ejemplo: defenderse de insectos o malas hierbas; mejorar su aporte nutritivo; ser más resistentes a condiciones meteorológicas adversas, adquiriendo resistencia al frío o al calor; adaptarse a suelos considerados áridos, como son los salinos o los cenagosos; consumir menos recursos energéticos, al dotarlas de algún mecanismo que les permita fijar dinitrógeno del aire, lo que haría innecesarios los fertilizantes nitrógenados, o por lo menos disminuir la cantidad que se necesita de ellos;³⁷ ser fábricas de proteínas, enzimas y medicamentos. Éstos son tan solo algunos ejemplos de las múltiples posibilidades que se abren en este campo. Las plantas del futuro, de seguir la tendencia apuntada, serán plantas muy especializadas y dependientes, en gran medida, de los laboratorios que las diseñen.

La mejora tradicional se inicia con la búsqueda de una variedad silvestre de una planta que ya se utiliza en cultivos, y que posea una característica determinada que resulta útil, por ejemplo la resistencia a la salinidad del suelo, el aprovechamiento mayor de los nitratos de la tierra, la resistencia a un virus, etcétera. Resulta evidente que dicha búsqueda puede ser extremadamente larga y muy laboriosa, y que además la misma puede resultar infructuosa si en la naturaleza no existe ningún miembro de la especie que intentamos mejorar con la característica que deseamos dotarla. Por otro lado, si la búsqueda tiene éxito, se inicia un largo proceso en el que en primer lugar se cruza la planta silvestre con

³⁷ Existen determinadas plantas, arbustos, o leguminosas, como el guisante o la judía, que tienen la capacidad de absorber y fijar el dinitrógeno del aire, dinitrógeno que después utilizarán para sintetizar nuevo material vegetal. Lo que hace la fijación del dinitrógeno es contrarrestar la liberación lenta hacia la atmósfera, de este elemento esencial, que se produce cuando los seres vivos mueren y se descomponen.

la cultivada; es decir, el polen de una planta fertiliza a los óvulos de la otra. Las semillas resultantes llevan los genes de ambas plantas. Con esto no se termina el proceso. Llegados a este punto es necesario identificar a aquellas plantas que poseen el gen deseado, pero también hay que tener en cuenta que éstas pueden tener genes indeseados que han pasado a formar parte de la nueva planta. Se hacen necesarios nuevos cruces, que implicarán nuevas generaciones de plantas. Tras este largo y arduo proceso se obtendrá como resultado una planta mejor que la planta de cultivo que poseíamos al principio, dado que posee, en mayor o menor medida, la característica de la que la queríamos dotar.

El proceso de selección y cruzamiento tradicional, que todavía hoy es en gran medida la base de la mejora de plantas, resulta largo, costoso e inseguro en sus resultados. La ingeniería genética hace posible que la mejora de plantas sea realizada en un período de tiempo menor, y de una forma más barata y segura en sus resultados.

La ingeniería genética hace posible, salvo los inconvenientes que arriba apuntábamos en parte, que las características valiosas deseadas dependientes de un gen, aunque éste no se halle en una variedad silvestre de la planta cultivada,³⁸ sean transmitidas de un ser vivo a otro. De esta forma la ingeniería genética aumenta en gran medida las probabilidades de encontrar el gen que se desea. Cuando se encuentra dicho gen se clona y multiplica por la cantidad que se quiera en un cultivo *in vitro*; y ello a fin de disponer de copias del mismo con vistas a su inserción posterior en las plantas que se quieren mejorar. El gen se introduce en una célula aislada de la planta, la cual se deja crecer hasta que produzca una planta completamente nueva. Este procedimiento permite en la práctica, siempre que la propagación reproductiva se produzca de forma vegetativa y no por transmisión sexual,³⁹ que la nueva planta y todas las que proceden de ella tengan

38 Es posible que este gen no solo no pertenezca a una variedad silvestre de la planta cultivada sino, que incluso no pertenezca a plantas estrechamente relacionadas entre sí, o al reino vegetal. Puede darse el caso que el mismo pertenezca a bacterias, hongos, virus, e incluso a animales.

39 La reproducción por transmisión sexual hace que se mezclen los genes de la nueva planta con los existentes en las plantas no modificadas genéticamente de la misma variedad. Esto hace,

el gen insertado, y a través de él la característica deseada, en una sola generación y sin ningún gen no deseado. Además, a través de una sola inyección de material genético se hace posible transferir varios genes beneficiosos procedentes de varios organismos donantes. Los problemas consisten, de nuevo, en colocar esos genes en el lugar idóneo y en controlar las posibles consecuencias negativas que en su interacción con el organismo huésped se puedan producir. Estas evidentes ventajas potenciales han hecho de esta área una de las más importantes en el desarrollo y utilización de la ingeniería genética.

Una cuestión importante dentro de las nuevas biotecnologías dedicadas a mejorar las plantas ha sido la de obtener variedades híbridas de semillas, y ello porque éstas permiten una mayor producción. Las semillas híbridas se obtienen esencialmente a través de la esterilidad masculina. Si bien es cierto que la misma existe de forma natural en numerosas plantas, también lo es que sólo es fiable y económicamente interesante en producciones a gran escala y para algunas de ellas como la cebolla, remolacha azucarera, sorgo, girasol, zanahoria y plantas ornamentales.

La ingeniería genética permite suprimir la producción de polen en las plantas, lo significa la obtención de plantas estériles masculinas que pueden reconstituirse a través de un simple crecimiento sexuado.⁴⁰ La esterilidad masculina de las plantas

como ocurre con el método tradicional de mejora de plantas, que se transmitan genes no deseados conjuntamente con el gen deseado, o que incluso no llegue a transmitirse éste en la totalidad de las plantas.

⁴⁰ Existen otros procedimientos para obtener la esterilidad masculina de las plantas. Entre ellos destacan, por el uso que han tenido, las llamadas castraciones manuales y mecánicas. Éstas son caras y poco fiables en plantas tan importantes, entre otras, como el trigo o la soja. Otro procedimiento muy utilizado ha sido el de los *gametocidas* químicos. Este procedimiento tiene una eficacia variable que depende de las condiciones exteriores, y que además ha dado lugar en algunas ocasiones a aberraciones cromosómicas en las células sexuales femeninas. La ingeniería genética no plantea ninguno de estos problemas. Las únicas restricciones a su aplicación a todas las especies vegetales que ha mostrado tener hasta el momento son: la precisión de la transferencia del gen extraño a la planta huésped; y la necesidad de que si se quiere obtener esterilidad masculina ésta tenga que ser un carácter dominante, lo que supone que se transmite al 50% de la descendencia. Respecto al primer problema señalado debemos decir que la transformación ya es posible en la actualidad para numerosas especies vegetales en las que se utiliza la esterilidad masculina. De entre ellas, destacamos por su importancia las siguientes: maíz, col, colza, algodón, melón, tomate (*dicotiledóneas*), arroz, maíz, trigo (*monocotiledóneas*).

es muy importante en agricultura, ya que permite controlar los crecimientos que dan origen a las semillas híbridas, y hace que las características de éstas sean homogéneas y reproducibles.

Otro de los campos en donde las nuevas biotecnologías han incidido con más énfasis en la mejora de plantas ha sido el que se refiere al complejo sistema de absorción, transporte y modificaciones químicas que sirven a la planta para incorporar las formas minerales (iones nitratos $[\text{NO}_3]$ en su forma negativa, e iones amonio $[\text{NH}_4]$ en su forma positiva) a sus moléculas orgánicas. Estas formas minerales, que se hallan en el suelo en pequeñas cantidades, constituyen la fuente de nitrógeno que se encuentra en las proteínas del ADN.

Los fertilizantes utilizados en agricultura, que posibilitan un mayor crecimiento de las plantas, aumentan de forma extraordinaria las formas minerales que proporcionan nitrógeno. Estas formas minerales (iones nitratos $[\text{NO}_3]$ en su forma negativa e iones amonio $[\text{NH}_4]$ en su forma positiva): “son extraídas de los suelos a nivel de las raíces, los iones nitratos son asimilados por el metabolismo de la planta (Meyer *et al.*, 1993: 919).

Otro aspecto en el que las nuevas biotecnologías han conseguido ya logros importantes, es el de la fijación del dinitrógeno. Recordemos que la fijación del dinitrógeno es muy importante, puesto que permite ahorrar muchos recursos de los que ahora se destinan a los costosos fertilizantes nitrogenados. La fijación del dinitrógeno es llevada a cabo no por las leguminosas, que son algunas de las plantas donde esto se produce, sino por unas bacterias que viven en los nódulos, sobre las raíces y tallos, en una relación simbiótica con la planta mutuamente beneficiosa. Con relación a este tema, uno de los primeros objetivos de la ingeniería genética fue la identificación de los genes de las enzimas que estos microorganismos utilizan para fijar dinitrógeno, y ello con la intención de transferir dichos genes a plantas cultivadas, a fin de dotarlas de una mayor capacidad, sin la necesidad de bacterias que hagan ese trabajo en su lugar, y de fijar el dinitrógeno por ellas mismas.

Existe, sin embargo, una dificultad para alcanzar la fijación del dinitrógeno, y es la de que dicho proceso no es monogénico, sino plurigénico. Esto complica de sobremanera la transferencia de todos los genes involucrados a las células vegetales. Es de esperar que la fijación del dinitrógeno sea una de las características principales de lo que se ha dado en llamar “plantas de diseño polivalente”

Otra de las mejoras importantes relacionadas con las plantas, en las que las nuevas biotecnologías han incidido de manera decisiva, se refiere a la posibilidad de cambiar el color de aquéllas y el de sus flores.⁴¹ En efecto “los colores vegetales suscitan actualmente un renovado interés, especialmente con el desarrollo de las biotecnologías, que hacen posible dominar la síntesis de los pigmentos en la planta” (Gantet y Dron, 1993: 808).

El poder cambiar el color de las plantas afecta a la agricultura y a la agronomía al abrir, por ejemplo, la posibilidad de nuevas variedades de flores o frutos más coloreados y atractivos para el consumidor. También afecta al sector agroalimentario en el que los pigmentos vegetales, al ser naturales, pueden sustituir a los de origen químico, constituir una buena alternativa a éstos, y convertirse con el tiempo en los colorantes alimenticios más usados.

2.2 Nuevas biotecnologías aplicadas en los campos de los insecticidas herbicidas

La ingeniería genética utilizada para la mejora de plantas incide también de forma importante, en el campo de los insecticidas y herbicidas. En este aspecto, tres son las estrategias que se han adoptado: la creación de plantas resistentes a los insectos que les son perjudiciales, o a las malas hierbas que intentan invadir su nicho; la creación de plantas que dadas sus características tengan una menor dependencia de los pesticidas y herbicidas tradicionales; y la creación de plantas

41 El origen de la variedad de colores en las plantas se debe a las propiedades de los distintos pigmentos (unas moléculas que se hallan concentradas en la mayor parte de los órganos vegetales): clorofilas y *carotenoides*, esencialmente en los tallos; *flavonoides*, en los pétalos de las flores. Las nuevas biotecnologías al incidir en estas propiedades abren la puerta a la creación de nuevos colores en las flores, y a la producción de colorantes alimenticios naturales.

con mayor resistencia a los herbicidas e insecticidas químicos tradicionales. Esta última estrategia es la que tiene un mayor éxito; lo cual resulta lógico si tenemos en cuenta que son precisamente las grandes multinacionales químicas, como Monsanto o Dupont, dedicadas al negocio de pesticidas y herbicidas las que más inversiones realizan en biotecnología, e incluso han comprado la mayor parte de las empresas dedicadas a la mejora de semillas.

2.3 Nuevas biotecnologías aplicadas a conferir resistencia a las plantas frente a los insectos

Para conferir resistencia a las plantas frente a los insectos, era necesario encontrar algún tipo de gen dentro del patrimonio genético que actuara ya como un insecticida natural. Un equipo de investigación situado en la Universidad de Durham, en colaboración con el Cambridge Plant Breeding Center, logró a finales de la década de los ochenta insertar un gen que actúa como insecticida en plantas del grupo de las *dicotiledóneas*.

Se sabía que la planta del frijol fraile posee la capacidad de autoprotgerse frente a determinados escarabajos. El mecanismo utilizado por esta planta para autoprotgerse frente a estos escarabajos es la producción de ciertas sustancias químicas que detienen en el insecto la secreción de la *tripsina*.⁴² Sin la *tripsina* el escarabajo muere en unos días al no poder absorber las proteínas que necesita para vivir.

Lo que lograron los equipos de investigación ya citados fue transferir el gen del frijol fraile que corresponde al inhibidor de la tripsina a plantas de tabaco. El resultado que obtuvieron fue muy alentador, puesto que consiguieron que las plantas de tabaco se autoprotgeran de los insectos que normalmente las atacan, matándolos. Esto abre la puerta a que, al encontrar la manera de hacerlo, insertando este u otros genes autoprotectores, las propias plantas se autoprotejan

⁴² La *tripsina* es la enzima digestiva que degrada las proteínas vegetales en el intestino del escarabajo, y permite la absorción de dichas proteínas.

eficazmente frente a los insectos que les son dañinos, y ello sin necesidad de insecticidas químicos.

2.4 Nuevas biotecnologías aplicadas a enfermedades de plantas

Las enfermedades en plantas constituyen uno de los problemas mayores a los que se enfrentan las nuevas biotecnologías. Los virus constituyen, al respecto, uno de los agentes más activos que las atacan. Una de las formas de hacer invulnerables a aquéllas de tales ataques, es a través del *ARN antisentido*.

Un virus infecta una planta cuando inserta sus propios genes en los genes de los núcleos de las células vegetales. Después de esto el virus produce más partículas de virus, por su parte la célula sigue produciendo sus componentes celulares. En el proceso de copiado un gen vírico de ADN se copia en forma de ARN mensajero, pasando del núcleo al citoplasma de la célula (a unos *orgánulos* llamados *ribosomas*, que es donde se produce la síntesis de las nuevas proteínas) de acuerdo con las instrucciones del propio ARN mensajero procedentes del virus, o de los genes nucleares de la célula.

Lo que se produce con la infección de un virus en una planta, es que éste introduce sus genes en las células de la segunda, ordenando a las células de la planta que produzcan copias de ARN de los genes víricos en lugar de los genes vegetales que deben producir.

3. Nuevas biotecnologías en animales

Fue en 1982 cuando Richard Palmiter, Ralph Brinster, y sus colegas de las Universidades de Seattle, Filadelfia y San Diego respectivamente, obtuvieron ratones de un tamaño entre dos y tres veces superior al normal mediante la transferencia del gen de la hormona del crecimiento de ratas, a través de microinyección, a células huevo de ratón que después implantaron genéticamente modificadas en el oviducto de hembras que llevaron la gestación hasta el final.

Los animales transgénicos pueden clasificarse en tres tipos:

- a.** Productores de sustancias activas sobre el propio animal, como la hormona del crecimiento;
- b.** productores de sustancias de interés farmacológico;
- c.** animales resistentes a enfermedades (Enjuanes, 1994: 154).

Los animales transgénicos suponen, en primer lugar, un medio fundamental para obtener información sobre la función del gen transferido, así como de la regulación de su expresión; es decir, de su traducción en una proteína. Esto hace posible que se puedan obtener algunas aplicaciones en el campo médico; por ejemplo la utilización de los animales transgénicos como modelos experimentales de enfermedades humanas como “la hipertensión, la arteriosclerosis, la diabetes insulino dependiente, la mucoviscidosis, la miopatía de Duchenne, la esclerosis lateral amiotrófica” (Houdebine, 1995: 37).

En segundo lugar, a través del transgen insertado en un animal se puede llegar a determinar la síntesis de una sustancia útil desde el punto de vista farmacológico, la cual se puede extraer a través de un fluido biológico. La leche es el fluido que mejor sirve para esta función, ya que es fácil de extraer del animal, éste la produce de forma abundante, es rica en proteínas, está desprovista de *proteasas*, y se segrega en un una especie de depósito relativamente aislado del resto del cuerpo.

Respecto a las sustancias útiles que se pueden obtener a través de la transferencia genética debemos decir que, para nosotros, sólo están justificadas cuando se respete el compromiso ético del hombre con los animales, que obliga a éste a no causar a aquél un sufrimiento innecesario; se trate de proteínas de estructura compleja; se necesite una cantidad elevada de las mismas; y se tenga una gran necesidad de ellas. Este es el caso, por ejemplo, de las hormonas; los factores de crecimiento, coagulación, antitrombóticos; antígenos destinados a la vacunación y al diagnóstico; enzimas; y los anticuerpos monoclonales por las múltiples aplicaciones a los que pueden ser sometidos.

Para favorecer la salud humana se ha experimentado con la transmisión de genes humanos a cerdos. Esto se ha hecho con el fin de que los órganos de este animal puedan utilizarse en trasplantes para el hombre. A este respecto:

El instituto científico Roslin, de Edimburgo, en Escocia, el mismo que creó la oveja Dolly, primer mamífero clonado a partir de una célula adulta, trabaja ahora en la clonación de cerdos para la obtención de órganos para trasplantes a seres humanos. El objetivo es fabricar puercos para utilizarlos como bancos de órganos para personas con insuficiencias renales y cardíacas (*El País*, 19 de noviembre de 1998).

Por último, con los animales transgénicos se pretende obtener una mejora de la producción y calidad de los productos que de ellos se obtienen. A este respecto existen objetivos tales como el aumento de la producción de leche, la disminución del colesterol y grasas en carnes y huevos, el crecimiento más acelerado y la consecución de un mayor tamaño en aves, la estimulación para un mayor crecimiento en peces, y la mejora de la calidad de cuero y lana. Pero también la ingeniería genética se usa a fin de aumentar la resistencia de los animales frente a enfermedades que les afectan, convertir a éstos en biorreactores capaces de producir sustancias de alto valor (insulina, factores de coagulación de la sangre, etcétera) para las necesidades terapéuticas del ser humano.

Las mejoras apuntadas en el párrafo anterior son obtenidas por la ingeniería genética de modos diferentes: a través de la clonación de una sustancia de control en laboratorio (por ejemplo la hormona del crecimiento) a fin de inyectársela después al animal, y de esta forma completar su desarrollo; inyectar el gen en el animal, preferiblemente en sus células germinales para que toda su progenie lo herede, y por tanto éste tenga la capacidad de producir la sustancia que el gen expresa;⁴³ utilizando *retrovirus* como vectores transmisores en la transferencia

43 En este procedimiento se inyecta una disolución que contiene muchas copias del gen a uno de los pronúcleos procedentes de las células sexuales masculina y femenina, esto se hace inmediatamente después de que se haya producido la fecundación (microinyección). Este procedimiento es bastante satisfactorio en ratones, ya que se obtienen de 3 a 5 ratones transgénicos

genética;⁴⁴ mediante el uso de células embrionarias, las células ES (*embryo-derived stem cells*), cuyo origen son embriones en las primeras fases de su desarrollo (*mórulas* y *blastocitos*).⁴⁵

4. Nuevas biotecnologías en humanos

Son las nuevas biotecnologías aplicadas a los seres humanos las que despiertan un mayor interés entre la población, una población que en ocasiones parece quedarse atónita ante los avances de las técnicas que inciden en la materia viva. Los evidentes progresos que se han realizado en los últimos años en el conocimiento

por cada cien embriones manipulados. Lamentablemente este porcentaje es mucho menor en los mamíferos de mayor tamaño. Es de esperar que el éxito de la microinyección mejore en rumiantes y cerdos a través de un procedimiento que fue experimentado en ratones por primera vez por el doctor W. Velander en la Universidad de Blacksburg, Virginia. Este procedimiento consiste en inyectar directamente el ADN en el citoplasma del huevo en vez de en el núcleo. Esto se puede hacer siempre y cuando el citoplasma del huevo se asocie a una molécula (la *polilisina*) que impide su degradación por los enzimas citoplasmáticos. El resultado de este procedimiento es que el ADN se integra bien en el genoma, lo que permite concebir mayores esperanzas de éxito para los casos en los que pronúcleos son poco visibles. Esto ocurre, por ejemplo, en cerdos y rumiantes. En la actualidad este procedimiento de microinyección mejorada puede aplicarse a varios mamíferos: conejo, cerdo, oveja, cabra, vaca. También puede aplicarse a peces y a diversos invertebrados: erizos de mar, insectos, nemátodos.

44 Estos virus al integrarse en el genoma de las células que infectan son potencialmente buenos vectores de los genes exógenos. En la práctica este procedimiento ha resultado menos eficaz que el de la microinyección debido a que el porcentaje de células transformadas es menor en aquél que en ésta. Además los *retrovirus* tienen el inconveniente de plantear problemas de seguridad, ya que se pueden producir posibles recombinaciones de su material genético con virus que en un momento dado lleguen a infectar al animal. Esta técnica ha sido utilizada sobre todo en aves, ya que los embriones de las mismas son difícilmente manipulables *in vitro* en la fase monocelular. Esto hace que sean poco accesibles a que se les pueda aplicar la técnica de microinyección.

45 El procedimiento consiste en cultivar *in vitro* estas células para después, mediante técnicas de transfección, insertar en ellas el ADN extraño y a continuación implantarlas en un embrión joven. El animal que resulta de este proceso es una quimera, ya que está formado por la yuxtaposición de células que proceden de orígenes diferentes. Además: “Al cruzar individuos normales con quimeras, y aprovechando el hecho de que un material genético se puede intercambiar con una región del genoma por un proceso de recombinación homóloga, se pueden obtener descendientes en los que está perfectamente identificada la modificación genética puntual de su genoma” Houdebine, 1995: 38). Debemos señalar que la utilización de este procedimiento depende en buena parte de la capacidad de generar linajes de células ES para las distintas especies animales. Es por ello que hasta la fecha dicho procedimiento se ha limitado a pocas especies, sobre todo se ha aplicado en ratones. Fue en 1994 cuando se consiguieron por primera vez cerdos, conejos y pollos quimeras, y fueron M. B. Wheeler de la Universidad Urbana de Illinois, Jean-Paul Renard del INRA de Jouy-en-Josas en Francia, y Robert Etches de la Universidad de Guelph en Canadá quienes lo consiguieron.

del genoma humano han sido posibles, sobre todo, gracias al Proyecto Genoma Humano, que iniciado en 1989 y finalizado en 2001, por lo menos en lo que se refiere a su primer borrador, ha supuesto una auténtica movilización de fondos económicos y de investigadores con el objetivo principal de realizar un mapa detallado del genoma humano.

4.1 El Proyecto Genoma Humano

Los objetivos que se plantea el Proyecto Genoma Humano (PGH) son: en primer lugar, completar un mapa genético con marcadores situados a intervalos de 2 a 5 *centimorgans*⁴⁶. Para ello, los científicos involucrados en dicho Proyecto calculan que serán necesarios de 600 a 1 500 marcadores diferentes. Para un mapeado completo del genoma humano, el cálculo aumenta a 3 000 marcadores bien espaciados. El segundo objetivo es la elaboración de un mapa físico del genoma; es decir, la ordenación de los fragmentos del ADN humano contenidos en una “biblioteca” y su colocación en el mismo orden en el que aparecen en el cromosoma. Lo que se persigue aquí es la construcción de un mapa con marcadores con intervalos a 100 000 pares de bases. Un tercer objetivo consiste en la mejora y perfeccionamiento de las técnicas de secuenciación del ADN, y su utilización en la secuenciación de segmentos continuos de ADN de hasta diez millones de pares de bases. Un cuarto objetivo es el estudio del genoma de otros organismos que se puedan utilizar como modelos del genoma humano.⁴⁷ Un quinto objetivo se refiere al perfeccionamiento de las bases de datos informáticas, y del software necesario para manejar la inmensa cantidad de datos que genera el mapeo y la secuenciación. El sexto objetivo, cuyo cumplimiento se espera que

46 Un *centimorgan* equivale aproximadamente a un millón de pares de bases.

47 Recordemos que el primer genoma animal que se ha descifrado gracias al Proyecto Genoma Humano ha sido el del gusano *Caenorhabditis elegans*. Esto ocurrió en diciembre de 1998, tras un trabajo de 8 años del Sanger Center de Cambridge, Reino Unido, dirigido por John Sulston, y el Genome Sequencing Center de la Universidad de Washington, Estados Unidos de Norteamérica, cuyo director era Robert Waterston.

sea cumplido medio siglo después de haber cartografiado la estructura del ADN, es la secuenciación completa del genoma humano.

El problema fundamental al que hace frente el PGH es el de la aceptación de la opinión pública del propio proyecto, la cual viene determinada, en buena medida, o al menos así lo creemos, por el conocimiento que del mismo se tenga. Existen temores, por parte del público en general, de que el PGH tenga como consecuencia aplicaciones eugenésicas que supongan la estigmatización social de individuos, y su discriminación a la hora de acceder a un puesto de trabajo o a un seguro. No olvidemos al respecto, que el PGH proporcionará conocimiento sobre enfermedades genéticas que permitirá diagnosticarlas antes de que las mismas se expresen en el individuo poseedor del gen defectuoso. El problema de los seguros médicos se agrava en el caso de Sistemas Privados de Salud, como ocurre en los Estados Unidos de Norteamérica, donde una aseguradora podría negarse a contratarlos sobre la base de diagnósticos genéticos. Otro cuestionamiento, no menor, es la posibilidad de que el conocimiento adquirido del genoma humano posibilite la fabricación de niños de diseño, monstruos, o quimera humanas. En última instancia, son las problemáticas éticas y sociales que surgen en torno al PGH, y las soluciones de compromiso que se establecen torno a ellas, las que contrapesan los beneficios que se esperan de él, y, por tanto, las que equilibran la balanza de su aceptación pública en sus aspectos queridos, pero también de su rechazo en los aspectos que puedan vulnerar principios morales y de convivencia fundamentales para las sociedades, tal y como son entendidas hoy en día.

Otro problema importante al que se enfrenta el PGH es el que se deriva de cómo hacer frente a la posibilidad de que sus descubrimientos acaben siendo patentados. En este sentido, ya en 1991 el National Institute of Health (NIH)⁴⁸ pretendió patentar secuencias de ADN que se manifiestan en el cerebro, que descubrieron sus investigadores, pero sin que éstos supieran en el momento de la solicitud a qué genes correspondían dichas secuencias, y sin siquiera conocer la

48 El NIH es el Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos de Norteamérica.

función de esos genes. El problema surgido de esta pretensión fue grave, debido a que de la solución del mismo dependió que siguiera manteniéndose el libre flujo internacional de información científica, tan importante para el éxito del propio proyecto. La aceptación de las patentes de las secuencias solicitadas por el NIH implicaba automáticamente un cambio de las reglas del juego, cambio que provocaría que los otros organismos involucrados en el PGH actuaran de la misma forma. Esto hubiese implicado, de producirse, que la libre circulación de la información a través de las publicaciones científicas se sustituyera por un ocultamiento de los datos relevantes, al menos hasta que éstos pudieran traducirse en invenciones protegidas por patentes. En el caso que nos ocupa, los gobiernos de Francia y Reino Unido protestaron ante el NIH con diferentes argumentos. Mientras que para el gobierno francés la cuestión se remitía a que los genes no debían ser patentables; para el gobierno británico lo importante era que las secuencias genéticas “sin utilidad conocida”, no deberían estar protegidas por patentes, aunque admitía la patentabilidad de las secuencias con función conocida.

Existían dudas razonables sobre la conveniencia de secuenciar todo el genoma humano, teniendo en cuenta que sólo una cantidad relativamente pequeña está constituida por genes, cantidad que algunos autores sitúan en torno al 3 o 4 por ciento del total.⁴⁹ A este respecto, cabe recordar que entre las secuencias sucesivas de pares de bases que constituyen cada gen, se encuentran pares de bases de lo que se llama *ADN espaciador*, que no porta ningún mensaje y su única función conocida es la mantener los genes separados. Además, dentro de los genes existen secuencias de ADN que carecen de mensaje, los llamados *intrones*. Algunos genes llegan a estar compuestos de hasta un 90% de éstos. En la actualidad se desconoce para qué sirvan, aunque algunas teorías apuntan la posibilidad de que ayudan a la evolución, al producir una amplia variedad de proteínas, material de diferentes células sobre el que trabajaría la selección natural. Alrededor de los *intrones* se encuentra un gran número de los llamados *pseudogenes*, que son

49 Véase J. Newell (1990: 126-127).

genes que no tienen secuencias con sentido al carecer de secuencias codificadas para fabricar proteínas. Ello es debido a que han perdido las secuencias extras necesarias para realizar la transcripción.

En febrero de 2001, Francis Collins, director del Consorcio Público del Proyecto Genoma Humano, y Craig Venter, presidente de la empresa Celera Genomics, presentaron conjuntamente sus respectivos primeros borradores del genoma humano. En estos borradores había algunas “sorpresas” respecto a lo esperado, por ejemplo: la constatación de que existen regiones muy ricas en genes que están intercaladas en vastas regiones desérticas; se espera que los genes en el genoma humano sean algo más de 30 000, cuando se esperaba que fueran 100 000; los genes humanos producen más proteínas por gen (una media de tres) que cualquier otro organismo; las proteínas humanas tienen una arquitectura más compleja que otros organismos; existen algunos genes que parecen ser el resultado de la transferencia horizontal o directa de genes de bacterias; alguna parte del ADN basura puede tener finalmente una función importante; la tasa de mutación masculina es el doble que la femenina, lo que indica que en los hombres está la causa de la mayor parte de las enfermedades genéticas, al tiempo que el progreso evolutivo; el concepto de raza queda sin base científica al deberse a él tan solo el 0.1% de la diferencia genética existente entre todas las personas.⁵⁰

4.2 Diagnóstico genético

El diagnóstico genético constituye una de las posibilidades más importantes abiertas por las nuevas biotecnologías, y en especial por la ingeniería genética. El hecho de que se pueda llegar a diagnosticar, por ejemplo, la disposición genética individual a enfermar por la exposición a determinados ambientes, o ante determinados hábitos de vida, constituye un paso adelante en la prevención de enfermedades y, por tanto, en la mejora de la calidad de vida de mujeres y hombres. Sin embargo, a este indudable beneficio que proporciona el diagnóstico

50 Cf. M. Ruiz (2001).

genético, hay que oponerle algunas posibles consecuencias negativas que deben ser evitadas mediante una legislación apropiada. Nos referimos aquí a la discriminación laboral y de contratación de seguros de enfermedad y vida.

Un caso especial de diagnóstico lo constituyen aquellos defectos genéticos que, cuando carecem de terapia, conducen a un desenlace de muerte del individuo. Entre ellos cabría distinguir a aquellos defectos genéticos que llevan a enfermedades manifestadas en los primeros años de la vida, que tras un periodo corto de años conducen a la muerte; de aquéllos que tienen como consecuencia enfermedades que se expresan en individuos adultos, que también conducen a la muerte, en un período más o menos largo, después de un proceso degenerativo. La distinción no es baladí, puesto que implica posiciones distintas por parte de potenciales padres en la toma de decisiones a la hora de decidir en un tema tan importante como la de tener hijos. Por otra parte, en esta toma de decisiones también jugarán un papel muy importante las probabilidades que existan de que los defectos genéticos de un progenitor puedan ser heredados por sus descendientes. Es decir, la llamada “lotería genética”.

En cuanto a las pruebas de diagnóstico genético que se realizan, cabe señalar que el primer procedimiento que se empleó fue el de la *amniocentesis*. En este procedimiento se extraen y analizan células que flotan en el fluido amniótico que rodea al feto (éstas pertenecen al feto y no a la madre), lo cual permite detectar anomalías cromosómicas y algunos defectos bioquímicos. El fluido amniótico se extrae en pequeñas cantidades, al insertar una aguja a través de la pared abdominal de la madre, aguja que los médicos pueden guiar a su destino gracias a las imágenes producidas por ultrasonidos que indican las posiciones de la placenta y el feto. Este método permite no causar daños al feto; y tiene los inconvenientes de que son pocos los trastornos que se pueden detectar con él. Por ejemplo, no pueden detectarse dos de las enfermedades genéticas más extendidas en el mundo: la anemia falciforme y la talasemia, ya que las células del fluido amniótico no sintetizan hemoglobina. Otro inconveniente es que únicamente se

puede aplicar esta técnica en una fase relativamente avanzada del embarazo, a partir de la decimocuarta semana; a lo que hay que añadir unas tres semanas más, que es el tiempo que los laboratorios tardan en disponer de la suficiente cantidad de células amnióticas. Todo este tiempo transcurrido hace muy difícil (al resultar los abortos tardíos traumatizantes y peligrosos para la madre) que se pueda interrumpir el embarazo, de detectarse que el feto sufre un trastorno grave.

En 1974 se descubrió otro método que consistía en extraer muestras de la sangre fetal, lo cual permitía comprobar la presencia de proteínas sanguíneas defectuosas. Esto supone una ventaja evidente respecto al método basado en la extracción de la *amniocentesis*, ya que permite aumentar el abanico de las enfermedades genéticas que pueden ser detectadas. Sin embargo, este procedimiento tiene el inconveniente de que sólo se puede realizar a partir de la decimocuarta semana del embarazo. Esto limita, como ocurría en el caso de la *amniocentesis*, la posibilidad de realizar, en el caso de detectar un trastorno grave en el feto, un aborto sin riesgo físico y psíquico para la madre.

Otra técnica de diagnóstico genético que se ha desarrollado recientemente consiste en la toma de muestras de *vellosidades coriónicas* (MVC). Las *vellosidades coriónicas* son: “proyecciones de la membrana que rodea al embrión en las primeras fases del embarazo, que poco a poco se van transformando en la placenta madura.” (Wilkie, 1994: 125).

El procedimiento aquí indicado tiene la ventaja respecto a los dos anteriores de que se puede aplicar en una fase temprana del embarazo, entre la novena y la undécima semana. Con la toma de muestras MVC se obtienen células del feto que se examinan al microscopio, a fin de hallar anomalías cromosómicas y analizar el contenido de proteínas, y ello para detectar algunos trastornos hereditarios. Un ejemplo de los trastornos hereditarios que se detectan con este procedimiento es el de la enfermedad de Tay-Sachs, un trastorno de consecuencias fatales que afecta al sistema nervioso, y que es ocasionado por la carencia de la enzima *hexoaminidasa A*. La detección es posible gracias a que las células

amnióticas normales contienen esta enzima y las afectadas no.

Existen enfermedades genéticas que son imposibles de diagnosticar con los tres procedimientos vistos anteriormente. Es el caso, por ejemplo, de la *fenilcetonuria*, donde la enzima defectuosa que provoca la enfermedad se produce exclusivamente en las células del hígado, células que no pueden obtenerse ni con *amniocentesis* ni con muestras de sangre fetal, ni con toma de muestras de *vellosidades coriónicas*.

Un nuevo procedimiento, utilizado por primera vez en 1978 por Y. W. Kan y Andrees Dozy de la Universidad de California, en San Francisco, que se basa en el análisis directo del ADN de las células del fluido amniótico, vino a resolver, en parte, los problemas que planteaban los procedimientos vistos anteriormente. Este nuevo método de diagnóstico prenatal por análisis de ADN permite buscar, en los mismos cromosomas, los patrones de ADN característicos de diversas enfermedades. Además tiene la enorme ventaja de poderse aplicar en las primeras fases del embarazo, lo que permite adoptar decisiones en torno a un posible aborto, en caso de que el feto sufra un trastorno grave, sin que la madre corra riesgos psíquicos o físicos.

En cuanto a los procedimientos utilizados para diagnosticar un defecto genético en adultos portadores, o susceptibles de padecer una enfermedad hereditaria conocida, existen en la actualidad para algunas de ellas pruebas sencillas de realizar que permiten un diagnóstico certero en un porcentaje muy elevado. Es el caso, por ejemplo, de la Fibrosis Quística, en la que con un simple enjuague de boca con una solución salina se obtiene la cantidad suficiente de muestras de ADN para realizar el diagnóstico. Esto es posible gracias a que, con un enjuague de la boca en solución salina, se obtienen células de la mucosa bucal que convenientemente separadas del resto de la solución, permiten una extracción de ADN; el cual, copiado miles de veces, puede compararse con muestras de ADN portador de mutaciones que provocan la fibrosis quística. Este proceso puede realizarse en menos de cuatro horas y diagnóstica, en un porcentaje

muy elevado de acierto, si el individuo examinado posee en su versión materna, paterna, o en las dos, la mutación genética que provoca la fibrosis quística. Otros ejemplos de enfermedades de origen genético cuyo diagnóstico es hoy en día posible, mediante diversas técnicas de reconocimiento de patrones de ADN, característicos de diversas enfermedades, son la anemia falciforme y la talasemia, que afectan a la hemoglobina; y una enfermedad genética que afecta también a los glóbulos rojos y que consiste en una deficiencia de la proteína *glucosa-6-fosfato-deshidrogenasa* (G6PD). Estas tres enfermedades son el resultado de la respuesta evolutiva a la malaria, y son de las enfermedades genéticas más extendidas en el mundo. En concreto, la anemia falciforme es la segunda enfermedad genética más extendida en el mundo, y afecta a uno de cada 50 o 100 nacimientos de los que se producen en África. En este continente nacen cada año 100.000 niños con anemia falciforme. En la población de origen africano residente en otros países también se dan casos de afectados. En Estados Unidos de Norteamérica, unos 1.500 nacimientos por año, en el Caribe unos 700 y en el Reino Unido sobre 140. En cuanto a la talasemia, ésta suele afectar a habitantes de la región mediterránea y a orientales; llegando a alcanzar frecuencias entre 1 de cada 50 o 1 de cada 100 nacimientos. El trastorno de glóbulos rojos provocado por la G6PD no provoca enfermedades crónicas, pero afecta a unos cien millones de personas en todo el mundo. Este trastorno provoca graves anemias en respuesta a ciertos fármacos (en especial medicamentos modernos contra la malaria), y a la presencia de ciertas sustancias en el medio ambiente.

Los ejemplos citados de fibrosis quística, anemia falciforme, talasemia y G6PD corresponden a enfermedades que se manifiestan de forma inmediata. Existen otras dolencias de origen genético cuyos efectos aparecen mucho después. Es el caso del corea de Huntington o de la variedad hereditaria, poco común, del mal de Alzheimer. En estos dos casos existen pruebas para la detección del defecto genético que conduce inevitablemente a la enfermedad. El problema radica en la conveniencia de realizar dichas pruebas, teniendo en cuenta que la enfermedad

aún no se ha expresado y que no existe tratamiento alguno para evitarla y curarla cuando se produzca. Un adulto cuyo uno de sus progenitores haya desarrollado la corea de Huntington sabe que tiene un 50% de desarrollar esta enfermedad. Si se somete a la prueba de diagnóstico, sabrá con un 95% si la desarrollará o no. La seguridad del 95%, que es casi una certeza, de ser poseedor del gen defectuoso, puede ser una carga psicológica difícilmente soportable para una persona que en el momento del diagnóstico está sana.

Además, existen enfermedades poligénicas como algunos trastornos cardíacos, la diabetes, y el cáncer, en los que todavía no se ha determinado con exactitud qué genes defectuosos, y que interacción con ellos mismos y el ambiente las producen. Es evidente que estas afecciones pueden diagnosticarse por las consecuencias en el organismo que producen, y que son conocidas desde hace tiempo. Lo que tiene de nuevo el diagnóstico mediante pruebas de análisis genético es que con él se puede llegar a determinar la propensión de un individuo a padecerlas.

4.3 Terapia génica

Lo primero que queremos señalar es que aquí nos ocuparemos tan solo de la terapia génica que afecta a las células somáticas (no sexuales), y que por tanto no afecta a la descendencia del enfermo al que se aplica. La transferencia de genes a las células germinales, en el que éstos pueden ser transmitidos a la descendencia es, en la actualidad, éticamente inaceptable por el riesgo eugenésico que conlleva, y en la actualidad no se contempla su desarrollo a corto o medio plazo.

Es pronto para establecer con un mínimo de rigor cual será el alcance de la terapia génica en células somáticas en un futuro más o menos próximo. Esta todavía se encuentra en sus estadios preliminares, y aún deben madurar sus técnicas para dar el fruto esperado que prometen. Las potencialidades que se le asignan son diversas y de gran importancia para muchas enfermedades que actualmente causan mucho dolor y sufrimiento a los seres humanos. Sin embargo existen, hoy por hoy, dificultades técnicas, éticas, legislativas y de conocimiento

para que la aplicación de dichas terapias responda a lo que se espera de ellas. En este sentido: “Antes de que la terapia génica pueda utilizarse a gran escala habrá que resolver cuestiones científicas acerca de la mejora de la eficacia y la seguridad de los sistemas de transferencia, así como problemas éticos y reglamentarios.” (Dodet, 1995: 14).

Se avanza rápidamente en mejorar las técnicas, al igual que el conocimiento sobre los genes humanos, sus relaciones con otros genes, con el organismo, y sus funciones. No olvidemos que no fue hasta un período reciente que el biólogo norteamericano, Martin Cline, anticipó los desarrollos actuales de la terapia génica a través de sus experimentos con ratones, que demostraban que la selección de células de la médula ósea manipuladas genéticamente, era posible *in vivo* en animales. El doctor Cline se hizo tristemente célebre al intentar llevar a cabo experimentos de terapia génica en dos mujeres que padecían talasemia, sin la conformidad de los comités norteamericanos de ética y protección de las personas. Los resultados de los experimentos del doctor Cline fueron un fracaso debido a lo rudimentario de la tecnología de transferencia empleada (una permeabilización de células cepa en cultivo), aunque no tuvieron consecuencias nefastas para las pacientes. Cline fue severamente sancionado y obligado a dimitir por las autoridades de la Universidad de los Ángeles, donde trabajaba.

También los ensayos clínicos que nos deben dar respuesta sobre la eficacia de estas terapias han aumentado en los últimos años de forma decisiva. Recordemos que los primeros experimentos de terapia génica fueron aprobados por las autoridades sanitarias y éticas de Estados Unidos de Norteamérica (el Recombinant Advisory Committee [RAC] y la Food and Drug Administration [FDA]). Estos experimentos se realizaron en mayo de 1989 en los National Institutes of Health (NIH), en Bethesda, bajo la dirección de Steve Rosenberg. Los ensayos se realizaron *ex vivo* y sirvieron para comprobar la viabilidad de la técnica de transferencia. Para ello se transfirió un gen a pacientes afectados por melanoma maligno en fase terminal, este gen era un marcador de resistencia

a un antibiótico y carecía de acción terapéutica y tóxica. Fue, sin embargo, en septiembre de 1990 cuando se inició la primera prueba clínica de terapia génica verdadera, por medio de un gen terapéutico. Dicha prueba se realizó en los NIH bajo la dirección de R. Michael Blaese, Kenneth Culver y W. French Anderson. Se trataba de estudiar los efectos de la terapia en una niña que sufría un déficit inmunitario combinado severo, caracterizado por el déficit de una enzima, la *adenosindesaminasa* (ADA). Este déficit es mortal en un periodo corto de tiempo, si no se produce un trasplante de médula, puesto que induce a una acumulación de sustancias tóxicas en los linfocitos.

Del aumento de ensayos clínicos que usan la terapia génica dan buena cuenta los siguientes datos: mientras en 1990, en Estados Unidos de Norteamérica, se habían realizado dos ensayos clínicos; en este mismo país los realizados en 1994 ascendieron a unos cuarenta, y ello sin contar que en ese mismo año se realizaron diez en Europa. Por lo que se refiere a España, en 2001 ya se habían realizado tres ensayos clínicos de terapia génica. El último de ellos, llevado a cabo por la Clínica Universitaria de Navarra, consistió en inocular un virus modificado genéticamente en 12 pacientes de cáncer primario de hígado y en otros 12 con tumor de páncreas. Este virus introducido en los pacientes, insertaba en la parte afectada por el cáncer, un gen suicida (*timidina quinasa*) que destruye las células al entrar en contacto con el *ganciclovir*, un fármaco inocuo. Todos los ensayos clínicos a los que nos referimos son de adición génica, puesto que el gen defectuoso sigue presente en el cromosoma. Por otro lado, los ensayos no afectan al patrimonio genético hereditario del individuo sometido a tal terapia y, por tanto, su anomalía genética solo le es corregida a él, por lo que dicha corrección no se transmite a sus descendientes. La mayoría de los ensayos clínicos efectuados hasta la fecha lo han sido en Estados Unidos de Norteamérica y conciernen a distintos cánceres (tumores cerebrales, cáncer de ovario, de mama, cáncer colorrectal, etcétera), a la mucoviscidosis, al Sida, y a la hemofilia.

Se espera que la terapia génica pueda fortalecer la protección natural que

ofrece el sistema inmunitario contra las células anormales, sensibilizar las células anormales a drogas destinadas a envenenarlas, compensar el efecto cancerígeno de la mutación de un gen supresor de tumores (con un antioncogen como el gen p53), o bloquear la acción de un gen generador de tumores (oncogen). Aunque, la terapia génica tropieza con la dificultad del tamaño reducido, en número de casos, de las enfermedades debidas a la alteración de un gen, y ello cuando son precisamente estas las que, en principio, se pueden tratar con un mayor éxito. Este hecho ha producido que la terapia génica fuera, desde un punto de vista de asignación de fondos, menos atractiva que otras alternativas.

Las terapias génicas abrirán a medio plazo la posibilidad de tratar enfermedades plurigenéticas que en muchas ocasiones están en el origen de enfermedades tan frecuentes como cánceres, patologías infecciosas (sida, hepatitis víricas), cardiovasculares (hipercolesterolemia familiar, arteriosclerosis), enfermedades neurodegenerativas (enfermedad de Parkinson, enfermedad de Alzheimer, esclerosis lateral amiotrófica, etcétera), y afecciones crónicas como la poliartritis reumatoide. De hecho desde 1978, fecha en que se consiguió aislar los primeros genes humanos por medio de técnicas de ingeniería genética, hasta principios de 1995, ya se habían conseguido caracterizar anomalías que afectan a un solo gen como la mucoviscidosis, el corea de Huntington, la enfermedad de Gaucher, las hemofilias A y B, el *retinoblastoma*, la *miotonía*. Pero también anomalías que afectan a más de un gen y que contribuyen a la formación de tumores cancerosos, y a las modificaciones ligadas a la inserción en el genoma del material genético de un virus.

La eficacia de la terapia génica depende, en gran medida, de la precisión que se obtenga en la inserción del transgen en la célula huésped. Existen diversas técnicas para realizar dicha inserción. Estas técnicas utilizan vectores para realizarla. Los mejor conocidos y más utilizados actualmente en ensayos clínicos se basan en virus modificados (*retrovirus*; *adenovirus*, virus causante del herpes humano; *parvovirus* como el virus humano *adenoasociado* AAV). Otras técnicas

usadas, y que no utilizan los virus modificados como vectores para la transferencia de genes, recurren: a la electroporación (choques eléctricos que crean poros en la membrana celular *in vitro*), a la fijación del ADN en micropartículas de oro proyectadas en los tejidos por medio de unas “pistolas de genes”, a la inyección directa en los tejidos, *in vivo*, de *ADN plasmídico* <<desnudo>> (es decir, aquel ADN que es independiente de un vector vírico, o químico, incapaz de integrarse en el genoma pero apto para codificar proteínas), a vectores sintéticos como los *liposomas* que son utilizados en algunos casos para transferir genes a las “células cepa” de la sangre, a complejos de *ADN-polisilina-glicoproteínas*, que captadas por receptores de las membranas, tienden a facilitar la entrada del ADN en las células, a complejos *lipídicos* (*cytoflectinas* o *lípidos catiónicos*).

Es importante para evitar efectos secundarios indeseables, y asegurar un buen funcionamiento del gen introducido, que en la transferencia del gen a la célula los vectores sean seguros⁵¹ y eficaces.⁵² A ello hay que añadir, si se quiere que la terapia génica alcance un desarrollo importante, la necesidad de fiabilidad industrial de los vectores, y un coste asequible tanto en su producción como en su adquisición.

La mayor parte de las empresas dedicadas al desarrollo de sistemas de transferencia de genes que sirven para realizar terapia génica tienen su ubicación en Estados Unidos de Norteamérica. Los objetivos que se proponen estas, atienden a un gran y variado número de enfermedades que afectan a muchas personas. Entre

51 A este respecto, si bien los riesgos ligados al propio gen, o más exactamente a su producto *glicoproteico*, ya han sido identificados, la utilización de un organismo genéticamente modificado para transferir el gen a las células diana hace difícil la estimación de riesgos, y de las posibles consecuencias que se derivarían de una eventual discrepancia entre el comportamiento efectivo del organismo modificado genéticamente y el comportamiento que se espera de él. Esto puede tener lugar tanto durante la producción de los vectores como en el curso de su utilización terapéutica.

52 Recordemos que para que los vectores sean eficaces se necesita producirlos en gran número. Esto implica que deben ser introducidos en unas células que también están modificadas genéticamente (células de complementación). Una de las consecuencias que se derivan de este hecho es que se aumenta el riesgo de que durante el proceso se produzca un intercambio accidental de material genético (recombinación) entre las células complementarias y el virus utilizado como vector. Esto podría dar origen a nuevos virus capaces de replicarse y de infectar otras células (partículas víricas replicativas o PVR), estas partículas víricas replicativas pueden llegar a ser patógenas.

las mismas destacan las que se dan más en los países desarrollados económicamente y con mayor industrialización: cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas y enfermedades infecciosas como el sida.

Por último, no debemos olvidar que la terapia génica también está expuesta a determinados riesgos, y que muchos de ellos dependen de la inexactitud de la inserción del transgen en la célula huésped. De entre los riesgos existentes, los que nos parecen más peligrosos son: que el gen insertado pueda dañar de alguna forma algún gen fundamental para el funcionamiento de un órgano esencial para la vida, o que pueda activar un oncogen.

5. Otras aplicaciones de las nuevas biotecnologías

En este apartado veremos las nuevas biotecnologías destinadas a la producción de biosensores. Es decir, la utilización de moléculas vivas, anticuerpos, y enzimas en la detección y medición de sustancias químicas. También veremos las destinadas a la producción de alimentos tanto para animales como para humanos. Ellas pueden dar a los alimentos, por ejemplo, nuevas propiedades proteínicas y abaratar los costes de producción de éstos.

5.1 Nuevas biotecnologías aplicadas a producir biosensores

Iniciaremos estas nuevas aplicaciones con una que, sin duda, tiene un enorme potencial dadas sus características. La aplicación a la que nos referimos es la que utiliza los anticuerpos⁵³ o enzimas⁵⁴ con el fin de hacerlos servir como biosensores.⁵⁵ En efecto, hoy en día ya es posible la utilización de moléculas vivas, anticuerpos o enzimas para la detección y medición de sustancias químicas. Por ejemplo: la cantidad de glucosa en sangre, o los gases tóxicos o

53 El que un anticuerpo reaccione con fuerza ante un solo antígeno hace que este se pueda utilizar en su detección, aunque el mismo se encuentre en cantidades muy bajas, con gran precisión.

54 La reacción de una enzima con un sustrato posibilita que la misma pueda ser utilizada en la detección del mismo, aun cuando este se halle en cantidades mínúsculas.

55 Los anticuerpos y enzimas que se hacen servir como biosensores son el resultado de la aplicación de la ingeniería genética, y por tanto los biosensores entran de lleno en las aplicaciones que las nuevas biotecnologías posibilitan.

letales productos de un escape involuntario o lanzados en un campo de batalla. Pero lejos de terminar en estas aplicaciones las posibilidades de los biosensores, las mismas van mucho más allá y abarcan distintos campos. Así, los biosensores serán muy importantes, también, en el diagnóstico médico.

El que puedan utilizarse anticuerpos o enzimas a modo de biosensores se debe, fundamentalmente, a las reacciones que sobre anticuerpos y sustratos tienen ambas sustancias. Tal es así que la presencia de una sola molécula de éstos, puede ser detectada por un biosensor específico formado por aquéllos. Ello es debido a que la reacción antígeno-anticuerpo, enzima-sustrato produce un cambio químico que implica un cambio de carga eléctrica. Esto supone, ni más ni menos, la posibilidad de establecer mecanismos físicos señalizadores que nos permitan detectar con facilidad la presencia de los antígenos y sustratos cuya presencia en el medio nos interesa conocer.

Estas cualidades de los anticuerpos y de las enzimas ya eran conocidas antes de la aparición de la ingeniería genética, y de las técnicas para la producción de anticuerpos monoclonales. Sin embargo, hasta la llegada de éstos y de aquella no fue posible aprovechar las posibilidades de anticuerpos y enzimas; debido a la incapacidad que mostraron otras técnicas de producir en masa los anticuerpos y enzimas necesarios. La ingeniería genética y las técnicas de producción de anticuerpos monoclonales han hecho posible que en la actualidad se pueda producir cualquier tipo de enzima o anticuerpo. En el caso de las enzimas, se inserta su gen en un cultivo celular y se pasa a continuación a clonarlo. En el caso de los anticuerpos se inyecta primero el antígeno correspondiente en ratones, y luego se procede a inmortalizar las células productoras de anticuerpos contra el antígeno.

Los biosensores pueden tener aplicaciones muy diversas y de gran utilidad. A la aplicación de diagnóstico médico, que supone la medición de glucosa en sangre, aplicación tan importante para el amplio colectivo de diabéticos, se añade la posibilidad de crear microprocesadores que controlen la cantidad y velocidad

de insulina vertida por recipientes de insulina implantados en el cuerpo. Esto permitiría imitar de forma clara y precisa la función del páncreas dañado y, por tanto, mejorar en gran medida la calidad de vida de los diabéticos. Cabe imaginar que este mismo sistema podría ser utilizado también en quimioterapias contra el cáncer, o en cualquier otra enfermedad que necesite del suministro de un medicamento de una forma continuada. Por otro lado, cabe esperar que los biosensores tengan un gran desarrollo en el campo del diagnóstico de algunas de las enfermedades infecciosas más importantes, ya que permitirán diagnosticar las mismas de forma sencilla, infalible, rápida y barata. Esto último es de gran importancia para los llamados países del “Tercer Mundo” a los que especialmente afectan estas enfermedades infecciosas, y cuyos escasos recursos económicos no les permiten actuar sobre ellas de la forma más idónea.

En cuanto a la detección de gases tóxicos o letales, los usos que se hagan de los biosensores no son, en absoluto, menos variados que para el caso de los diagnósticos y mejora de terapias vistas en el párrafo anterior. En efecto, los biosensores pueden utilizarse, por ejemplo: en la detección de gases en una explotación minera, o en cualquier otro tipo de explotación industrial; en la detección de gases químicos o biológicos utilizados en guerras; en la detección de pesticidas y herbicidas en el medio ambiente o en cultivos determinados; en la detección de bombas ocultas; en el control de cultivos de invernadero gracias a su capacidad de medición de los niveles de nutrientes en suelos y en el agua, lo que posibilita el ajustamiento del suministro de los mismos en los niveles deseados.

5.2 Nuevas biotecnologías aplicadas a la producción de alimentos

Otra de las aplicaciones relacionadas con las nuevas biotecnologías, es la que se refiere a su uso para modificar las materias primas, y las características de los alimentos destinados tanto a humanos como a animales. Por ejemplo:

La proteína de los cereales es deficitaria en *lisina* y las leguminosas en *metionina*, en piensos para el ganado que se basan en maíz o de soja se tienen que suplir con

el correspondiente aminoácido deficitario. Siguiendo la misma metodología que para producir *péptidos* farmacológicamente activos, se han modificado proteínas de reserva de semillas, insertando en los genes correspondientes fragmentos de material genético enriquecido con *codones* para *metionina* y *lisina* con resultados preliminares prometedores (Carbonero, 1994: 166).

Otro ejemplo lo constituye el cambio de la composición del aceite de semillas oleaginosas que, a través de la modificación del grado de saturación y de la longitud de las cadenas de ácidos grasos, pueden llegar a convertirse en aceite industrial, e incluso se plantea su utilización como punto de inicio en la síntesis de ciertos “plásticos” biodegradables. La ingeniería genética es también capaz de modificar propiedades tan importantes en los productos alimenticios como la viscosidad, la elasticidad y las propiedades emulsionantes.

Las nuevas biotecnologías pueden afectar en varios sentidos a la industria alimenticia, a través de su capacidad de modificar los componentes alimenticios, dándoles nuevas y mejoradas propiedades; su capacidad de modificar las propiedades funcionales de las proteínas; la posibilidad que abre de medir con más precisión constituyentes alimenticios a través, por ejemplo, de sensores con enzimas inmovilizados; su capacidad de abrir nuevos procesos en la producción de alimentos y de sus componentes, etcétera. Pero veamos a continuación cuáles son los campos de aplicación biotecnológica más importantes para la industria alimenticia.

Dentro de la mejora de los alimentos a través de las nuevas biotecnologías, las enzimas juegan un papel muy importante en productos alimenticios como los derivados del almidón (pan, galletas, pastas como espaguetis, etcétera), los lácteos (producción de queso), los zumos y la cerveza.

La primera enzima modificada por ingeniería genética para uso alimenticio fue la *renina* (cuajo usado en la industria quesera). La técnica utilizada fue la de la clonación del gen codificador de la enzima en una cepa de *Escherichia coli*, lo que permitió obtener grandes cantidades de enzima pura por fermentación. En la

actualidad varias enzimas han sido mejoradas por ingeniería genética. El cuadro que presentamos a continuación muestra algunos ejemplos.

Cuadro 2. Campos más importantes de las aplicaciones biotecnológicas en la industria alimenticia

Operación básica de la industria alimenticia	Aplicación biotecnológica
Materias primas	Obtención de nuevas especies o variedades animales o vegetales, dotadas de propiedades ventajosas para la industria.
Estabilización	Autoestabilización de los alimentos por procedimientos distintos a los convencionales y más naturales (antibióticos o antioxidantes endógenos, estabilizadores de espuma natural, etcétera).
Mezcla	Creación de nuevos métodos físicos con mayor selectividad y precisión.
Transformación	Mejora genética de los microorganismos utilizados en las transformaciones fermentativas. Puesta a punto de nuevos enzimas, procesos fermentativos con cultivos de células vegetales o animales. Inmovilización de células y enzimas

FUENTE: Domínguez (1994: 178)⁵⁶

Las cepas microbianas son importantes a fin de obtener aditivos y nuevos ingredientes de origen biológico que sustituyen los de origen químico. Recordemos al respecto, por ejemplo, que componentes químicos como el *ciclamato* y *ciclohexilomina* (de amplia utilización en edulcorantes), el *ácido etilen-diamenotetracético* (utilizado en la conservación de alimentos que contienen grasas y aceites tales como mayonesa, margarina, ensalada, etcétera) producen anomalías cromosómicas, y que componentes como el *isotiocinato de alilo* (que se usa

⁵⁶ Extraído de J. Conde, “Perspectivas en Biotecnología en Alimentos”; en *II congreso Mundial vasco. El sector primario en el siglo XXI*, ed. Aedos, Barcelona, 1988.

como aditivo en salsas picantes, aromáticas, motazas sintéticas, etcétera), y los *nitritos* y *ácido nitroso* (utilizado para conservar carne, pescado y queso) son mutagénicos.⁵⁷

Cuadro 3. Mejoras de enzimas por ingeniería genética

Enzima	Aplicación	Mejora
Alfa-amilasa	Licucción de almidón	Tolerancia a ácido y a calor
Amiloglucosidasa	Producción de fructosa (HFCS)	Mayor productividad
Esterasas, Lipasas, Proteasas, etc.	Desarrollo de aromas	Mayor especificidad
Glucosa-isomerasa	Producción de fructosa (HFCS)	Mejor estabilidad térmica
Limoninasa	Desamarguización de zumos de fruta	Mejor degradación de la limonasa
Proteasa	Abrillantamiento de la cerveza	Mayor especificidad
Pululanasa	Producción de fructosa (HFCS)	Mejor estabilidad térmica

FUENTE: Domínguez (1994:180)⁵⁸

También son importantes, dada la atención preferente que los consumidores prestan a la salubridad y calidad de los alimentos que conforman su dieta, los métodos de detección de patógenos, toxinas, contaminantes químicos, y componentes en las materias primas y productos alimenticios terminados.

Respecto a la salubridad de los alimentos, cabe destacar que el desarrollo de

⁵⁷ Una lista más amplia de los componentes químicos usados por la industria alimenticia que producen trastornos cromosómicos, son mutagénicos, o pueden llegar a producir cáncer la podemos encontrar en J.R Lacadena (1983: 65-68).

⁵⁸ Véase al respecto a S. Neidleman (1988).

sondas de ADN y de anticuerpos poli y monoclonales ha permitido detectar, con mayor rapidez y eficacia que las técnicas clásicas, a los elementos patógenos, siendo ya de uso común *kits* que detectan la *Salmonella* y la *Listeria*.

Las nuevas biotecnologías han entrado también en el cambio, producción y desarrollo de los aromas desprendidos por los productos alimenticios. Esta intervención ha producido algunos resultados de gran interés que a continuación citaremos brevemente.

A través de reacciones enzimáticas se han obtenido aromas en quesos, se ha logrado transformar el *limoneno* en *carvona*, cuyo precio en el mercado es quince veces superior al de aquél; se ha dotado de aromas a aceites y margarinas a través del *diacetilo*, producido por microorganismos como el *Streptococcus lactis* y varios ácidos grasos y *lactonas*; se han obtenido aromas de pescado mediante una cadena de reacciones enzimáticas sobre el aceite de diversos pescados; se ha incidido en los aromas de la cerveza y de la cerveza sin alcohol para que tengan una parte aromática importante; se han obtenido aromas de vainilla y frutales. Estos ejemplos son buenas muestras de cómo la utilización de las nuevas biotecnologías ha dinamizado la industria alimentaria. No en vano, productos con olor frutal como el *butirato de etilo*, el *acetato de isoamilo*, y el *caproato de etilo* pueden ser sintetizados mediante aplicaciones biotecnológicas.

CAPÍTULO 3

El riesgo en las nuevas biotecnologías

1. Problemas de definición

Uno de los debates más importantes sobre la ciencia y la tecnología en general, y las nuevas biotecnologías en particular, es el que en las últimas décadas se han mantenido en torno al concepto de “riesgo”. No es que bajo este concepto se intente, ni mucho menos, paralizar los avances tanto científicos como técnicos que las sociedades modernas van alcanzando a medida que avanza su conocimiento en sus campos respectivos. Sin embargo, el mismo nos remite a un terreno donde las consecuencias no deseadas de la aplicación científica y técnica del conocimiento nos obligan a reflexionar sobre los mecanismos de evaluación y control que se deben establecer para evitarlas.

Las nuevas biotecnologías, por su relación con la materia viva, entran de lleno en riesgos éticos, riesgos en cambios de la estructura social que pueden conducir a un aumento de los desequilibrios y desventajas entre individuos que quiebren el principio de justicia social, riesgos para la salud humana y animal, riesgos medioambientales, etcétera. Estos riesgos preocupan a un amplio abanico de la opinión pública como muestran distintos estudios de opinión efectuados tanto en España como a nivel de la Unión Europea.⁵⁹ En todo caso, la magnitud de esta preocupación muestra el interés del público sobre los riesgos inherentes a las nuevas biotecnologías.

⁵⁹ Véase por ejemplo, a nivel español, Lizón (1996). A nivel de la Unión Europea puede verse, entre otros, Gaskell (2002).

No existe acuerdo teórico entre lo que debe entenderse por “riesgo”. Es este un concepto expuesto a definiciones sociales en competencia, y por tanto sociopolítico. A pesar de este desacuerdo, existen distintas formas de abordar el concepto que luchan entre sí por la legitimación social.⁶⁰ Nosotros abordamos a continuación algunas de las que consideramos más interesantes.

2. Posiciones teóricas frente a la definición de riesgo

A continuación describiremos brevemente las posiciones teóricas que definen el riesgo que nos parecen más interesantes. Abarcar todas las existentes nos ocuparía una extensión demasiado grande, amén de embrollar, más que aclarar, el concepto que aquí tratamos. Bástenos, para dar una idea aproximada de la complejidad a la que nos enfrentamos, con lo que sigue.

2.1 La posición del relativismo cultural

En el libro *Risk and Culture* de M. Douglas y A. Wildavsky (1982) encontramos una definición de riesgo basada en el relativismo cultural. Ambos autores se muestran contrarios a la posibilidad de que la percepción del mismo, y su posterior evaluación por los expertos, sea objetiva en el sentido positivista. Para ellos no existe tal objetividad en el riesgo percibido y evaluado por los expertos, y es por eso que la opinión que éstos tienen sobre ese concepto, no es privilegiada respecto a la del público no experto. Por tanto, estos autores concluyen que las opiniones sobre el riesgo de los no expertos, son del mismo valor que las de los expertos. Es así porque, tanto en unos como en otros, existe una construcción social del riesgo que delimita la percepción que sobre él se tiene. Es decir, y en último término; para estos autores el riesgo es un constructo social. Douglas y Wildavsky lo dicen textualmente: “Risk are social constructs” (Douglas y Wildavsky, 1982: 186).

⁶⁰ Respecto a distintas formas de definición de riesgo desde las ciencias sociales véase el buen recopilatorio de S. Krinsky, y D. Golding (1992).

2.2 La posición positivista

La posición positivista del riesgo, por ejemplo la asumida, entre otros por C. Starr y C. Whipple (1980: 1114-1119), implica que es posible medir objetivamente el riesgo. Una de las consecuencias principales de ello, es que para estos autores es posible ignorar los juicios de valor en el análisis y evaluación científica del riesgo. En este sentido, los juicios realizados sobre el riesgo, conforme a criterios científicos se sitúan bajo el “principio de completa neutralidad”, principio con el que la ciencia a través de sus métodos intenta evitar prejuicios y supersticiones que puedan afectar la toma de decisiones.

El “principio de completa neutralidad” es posible, según los representantes de la posición positivista, gracias a la distinción entre distintos tipos de valor: algunos forman parte de los científicos como individuos y son subjetivos; y otros de la ciencia como institución, éstos rigen su actividad a través de métodos rigurosos y contrastables, y son objetivos precisamente por su sometimiento a estos métodos, y porque los resultados obtenidos pueden ser comprobados por la comunidad científica. Los positivistas plantean también que es posible separar hechos y valores, e incluso suponen que algunos hechos carecen de valores.

La separación de valores entre “juicios categóricos de valor” y “juicios instrumentales de valor”; y la separación entre valores y hechos, permite a los positivistas, postpositivistas, y asesores de riesgo adheridos a estas corrientes, establecer el “principio de completa objetividad”, y el “principio de absoluta neutralidad”, para la ciencia y la evaluación del riesgo; siempre que los hechos estudiados se sometan a los criterios de las separaciones apuntadas. Aplicado el pensamiento señalado a la evaluación del riesgo implica que ésta: *“should consist of factual and neutral risk estimates, although the policy decisions made as a consequence of them may be evaluative”* (Shrader-Frechette, 1991: 234). Ello supone, en primer lugar, eludir la crítica normativa en las evaluaciones de riesgo que se realicen, y asumir que en las mismas nunca deben ser evaluados o sometidos a críticas los valores constitutivos, contextuales o cognitivos adheridos

a los datos o metodología empleada. Esto tiene como principal consecuencia la permanencia del *status quo* normativo existente. En segundo lugar, presupone la creencia de que algunos juicios acerca del riesgo son mejores que otros, y ello sin atender a los valores insertos en los juicios propios.

Lejos de contribuir a la objetividad, el “principio de total neutralidad”, la perjudica; puesto que tiende a reducir, en la práctica, todos los valores constitutivos de las diversas opciones de riesgo que se presentan a unos pocos valores priorizados como el “poder de predicción” o la “maximización de la ganancia esperada”. Esto tiene como consecuencia que la evaluación de riesgo que se efectúa, atendiendo únicamente a la probabilidad de que determinado suceso tenga lugar y a la ganancia esperada en un futuro de la fuente del potencial riesgo, ignorando los demás valores constitutivos.

El “principio de neutralidad”, al rechazar el análisis normativo en los juicios sobre el riesgo, impide la crítica ética y metodológica de las decisiones tomadas sobre la base de métodos científicos legitimados por tal principio. Ello implica, en la práctica, un empobrecimiento de las políticas públicas sobre el riesgo, puesto que olvidan factores tan importantes como la crítica a los valores constitutivos de cualquier metodología o análisis científico, las repercusiones éticas que de tales políticas puedan derivar, e incluso el contraste de opiniones entre distintos grupos sociales afectados por ellas. Factores todos ellos que cualquier decisión política que se considere democrática debe tener en cuenta.

El “principio de neutralidad” afecta en gran medida las políticas públicas sobre el riesgo; puesto que de la creencia de que es posible alcanzarlo, se deriva la tendencia a priorizar los valores constitutivos que se presentan en forma de interpretaciones y contrastaciones científicas de determinados datos, y se rechaza el debate social por subjetivo, valorativo e interesado. Incluso, yendo más lejos, el “principio de neutralidad”, llega a negar los valores constitutivos que le son ajenos, ya que al no poderse contrastar empíricamente no pueden ser objetivos.

En resumen aceptar el “principio de total neutralidad” propuesto por los positivistas, y que mantienen los postpositivistas y algunos evaluadores del riesgo en sus prácticas, supone: “(1) *sanctioning ethical relativism*, (2) *accepting the status quo*, and (3) *failing to see the real sources of controversy over risk acceptability*” (Shrader-Frechette, 1991: 237).

2.3 La posición procedimental

Esta posición se caracteriza por buscar una definición del riesgo intermedia, entre la adoptada por los relativistas culturales y la adoptada por los positivistas. En esta labor, recoge de ambos aquellos elementos que hacen posible, por un lado, tener en cuenta los valores aportados por la ciencia en sus evaluaciones (nos referimos aquí a valores tales como el “poder explicativo” que aporta la ciencia, y que permite establecer, por ejemplo; la probabilidad de que determinados sucesos tengan lugar, y bajo qué condiciones éstos serán posibles) y, por el otro, no rechazar los valores sociales aportados por distintos grupos, aunque éstos no puedan contrastarse empíricamente. Actuar de esta forma supone asumir la existencia de por lo menos un criterio universal con poder explicativo, y de que es posible realizar test sobre las predicciones efectuadas. Esto tiene la importante consecuencia de admitir la existencia de un procedimiento que garantiza la posibilidad de elección entre teorías o paradigmas atendiendo a las prácticas que conducen a una meta o fin, y no sólo a través de interpretaciones de lo bien que una teoría se aproxima al cumplimiento del fin o meta que persigue. Además, se da cabida a valores alternativos a los meramente científicos, lo que permite abrir la crítica y el debate democrático al corazón mismo de la ciencia y de la evaluación del riesgo.

Otra de las consideraciones que los partidarios de la posición procedimental realizan, se refiere a que a menudo, aunque los riesgos sean pequeños, la magnitud que puede alcanzar determinado suceso no puede ser determinada. En estos casos, las estimaciones que se realizan, fallan con respecto al poder explicativo que

aportan y las predicciones que efectúan; lo cual no quiere decir que la evaluación efectuada no haya sido empíricamente confirmada. Esto es así porque tanto el poder explicativo como los test de predicción son, en algunas ocasiones, una meta a alcanzar por la ciencia y la tecnología, y no un criterio para ellas. Este hecho lleva a considerar que la “objetividad”, no siempre requiere confirmación empírica para darse, o por lo menos no es el único criterio válido para que ésta se dé. Como nos lo recuerda Kristin Shrader-Frechette: “*It is not reasonable to require empirical confirmability of all risk judgments, because it is not the only test of objectivity, either in science or anywhere else*” (Shrader-Frechette, 1991: 240).

La objetividad de los juicios de riesgos efectuados no requiere, para los autores de la posición procedimental, la garantía de algoritmos correctos en los juicios de riesgo, sino el cumplimiento de un criterio general racional. El criterio general racional es aquél que nos permite, por ejemplo, explicar y predecir el comportamiento de individuos frente a determinadas situaciones de riesgo, u obtener y explicar magnitudes y distribuciones de un riesgo particular, y predecir ambas. Este criterio general racional para ser completo necesita de la participación y debate entre los científicos, el público no experto, y los afectados por los riesgos que se evalúan. Ello no quiere decir que rechacen el conocimiento que los métodos científicos aportan a la evaluación de los riesgos, sino que los mismos deben contrapesarse con otro tipo de conocimientos y valores de acuerdo a criterios democráticos que permitan la participación de los distintos grupos sociales, y no sólo de expertos. A esta participación democrática en el debate sobre el riesgo es a la que los autores de esta corriente llaman posición procedimental.

2.4 La posición de Jon Elster

Otra definición de riesgo la encontramos en Jon Elster, lo define de la siguiente manera:

Hay riesgo cuando el agente tiene grados cuantificables de creencia o <<probabilidades subjetivas>> sobre los diversos estados posibles del mundo. En este caso la racionalidad implica que el agente debería maximizar la utilidad esperada asociada con los diversos cursos de acción, es decir, un promedio de las conveniencias que se realizarán para diferentes estados del mundo (Elster, 1990: 71).

Esta definición nos remite, en primer lugar, a mecanismos fundamentales en la reducción de la <<incertidumbre>>,⁶¹ mecanismos que permiten convertir la misma en riesgo. En efecto, la creencia o las probabilidades subjetivas sobre los posibles estados del mundo permiten asignar a éstos, al menos, cierta verosimilitud de ocurrencia o de no ocurrencia. En este sentido, la creencia y las probabilidades subjetivas actúan como normas para la acción que permiten, en cierto grado, delimitar la incertidumbre, al poderse establecer posibilidades de sucesos para distintos estados del mundo. Ello es así porque la acción sujeta a norma (ya sea por creencia o por la probabilidad subjetiva), limita los cursos de acción disponibles para el agente, y por tanto confiere a determinados sucesos dependientes de la norma o de la probabilidad subjetiva posibilidades de ocurrencia en el estado del mundo futuro. El hecho de que la racionalidad del agente actuante implique maximizar la utilidad esperada asociada a diversos cursos de acción, limita a éstos de aquellos que desde el punto de vista del agente maximicen esa utilidad esperada. Los límites establecidos por la creencia, la probabilidad subjetiva, y la maximización de la utilidad esperada, permiten al agente no tan solo desechar cursos de acción posibles, sino incluso limitar el conjunto completo de los posibles estados del mundo, de tal manera que puede especificarlos mencionando las probabilidades de que éstos lleguen a ser. Por otro lado, tanto la creencia como la probabilidad subjetiva y el mecanismo de la maximización de la utilidad esperada permiten en ocasiones asignar posibilidades numéricas a la ocurrencia de determinados sucesos.

61 Más adelante examinaremos que entiende Jon Elster por este concepto.

Nuestro comentario sobre la definición de riesgo que hace Jon Elster, quedaría incompleto si no atendiéramos a otro concepto fundamental que utiliza este autor y que completa a aquél. Nos referimos al concepto “incertidumbre”. Jon Elster define la misma de la siguiente forma:

La incertidumbre surge cuando el agente no puede especificar probabilidades numéricas, ni siquiera dentro de un rango de límites inferiores y superiores. O, aún más fundamentalmente, ni siquiera puede especificar un conjunto completo de los posibles estados del mundo ni mencionar su probabilidad (Elster, 1990: 71).

Lo que separa a la “incertidumbre” del “riesgo”, según Jon Elster, es que en la incertidumbre el agente no puede asignar probabilidades numéricas a la ocurrencia de determinados sucesos, como tampoco puede especificar el conjunto completo de los posibles estados del mundo, o mencionar las probabilidades que éstos tienen de ser en el futuro. En efecto, mientras el concepto “riesgo”, implica que el agente especifica probabilidades numéricas a los sucesos que se producirán en los estados del mundo futuro, y actúa con criterios racionales, por ejemplo el de la maximización de la utilidad esperada. El concepto “incertidumbre”, implica que el agente no puede especificar probabilidades numéricas ni a los sucesos ni a los estados del mundo futuros. Además, en muchas ocasiones el agente bajo incertidumbre tampoco puede siquiera especificar un conjunto completo de los posibles estados del mundo. Esto hace que mientras en condiciones de riesgo es posible para el agente actuar racionalmente, en condiciones de incertidumbre este actuar racional se le haga muy difícil, aunque a veces no imposible. Nos referimos aquí, como señala el propio Jon Elster, a los casos en que el agente es capaz, al menos de “excluir aquellos cursos de acción cuya mejor consecuencia es peor que la peor consecuencia de alguna otra alternativa” (Elster, 1990: 71). En estos casos, aunque el agente no sea capaz de asignar numérica y racionalmente los resultados mejores y peores de cada curso de acción, sí que puede, al menos,

adherirse a una racionalidad de segundo orden que le permita rechazar por comparación. Hay ocasiones en que incluso esta comparación entre cursos de acción no puede llevarse a cabo, al no disponer el agente del conocimiento: “del rango completo de los estados posibles del mundo y, por lo tanto, de los posibles resultados de los diversos cursos de acción (Elster, 1990: 71). En estas ocasiones el agente no dispone de ningún mecanismo racional para elegir la acción que maximice la utilidad esperada, limitar la posibilidad de elegir el curso de acción que lleve a peores consecuencias que otros, o a la peor de todas ellas.

Kenneth J. Arrow desarrolla un modelo teórico de elección bajo condiciones de incertidumbre, en éste la explicación del comportamiento requiere:

- (1) subjective feelings of imperfect knowledge when certain types of choices, typically involving commitments over time, are made; (2) the existence of certain observed phenomena, of which insurance is the most conspicuous example, which cannot be explained on the assumption that individuals act with subjective certainty (Arrow, 1971: 44).⁶²

Respecto a la tecnología, Elster plantea una distinción entre expertos y no expertos. Según este autor, mientras los primeros están bajo condiciones de riesgo, los segundos están bajo condiciones de incertidumbre. Esto implica que los expertos son capaces de asignar probabilidades, o al menos tienen grados cuantificables de creencia. En este caso la creencia científica, basada en métodos de medición, cuya fiabilidad depende de la estadística de datos del pasado, permite establecer probabilidades de sucesos futuros. Creencia, a nuestro entender, subjetiva. En este sentido, como nos lo recuerda Andrés Rivadulla: “A partir de 1950 toma fuerza la interpretación de la probabilidad como una medida subjetiva de nuestra opinión o de nuestro grado de confianza, respecto a alguna afirmación sujeta a incertidumbre” (Rivadulla, 1991: 13).

62 Respecto al modelo de elección bajo incertidumbre véanse, sobre todo, pp. 44-89.

Por tanto, nuestra posición se aparta de la interpretación clásica de la probabilidad que mantenía la opinión de que la probabilidad de un suceso, como medida de incertidumbre asociada al mismo, era una propiedad objetiva, inherente al suceso en sí. Esto permitía considerar que la probabilidad podía ser determinada de forma objetiva a partir de la frecuencia del suceso. En todo caso, como señala Elster, los expertos son capaces también de establecer los cursos de acción tecnológica que maximizan la utilidad esperada. Por otro lado, los no expertos solo son capaces, y ello en el mejor de los casos posibles, de asignar cursos de acción cuyas mejores consecuencias no son peores que las peores de otro curso de acción.

No se nos escapa que de la aplicación del modelo presentado por Jon Elster a la tecnología se deriva, y aunque este no lo diga expresamente, que los expertos juegan un papel central, a través de la comunicación de riesgos, a la hora de dotar a los no expertos de conocimientos, en el fondo creencias, que les permitan establecer probabilidades en determinadas incertidumbres; es decir, convertirlas en riesgos. Esto, que en sí es una democratización en el ámbito de la evaluación y gestión del riesgo, incide, no obstante, en palabras de Anthony Giddens en:

La fiabilidad del público en los sistemas expertos⁶³ [puesto que] la fe que sostiene la fiabilidad en éstos incluye el bloqueo de la información de los profanos cuando se enfrentan a las afirmaciones de los expertos, [y que] el reconocimiento de las zonas de ignorancia a que se enfrentan los expertos mismos, ya sea como preferencias individuales, ya en términos de áreas generales de conocimiento, podían debilitar o minar la fe de las personas profanas. Giddens (1999: 125)

2.5 La sociedad del riesgo

No quisiéramos terminar esta breve sección sobre distintas teorías que intentan definir el concepto “riesgo”, sin decir alguna cosa sobre el clásico libro de Ulrich

63 Los sistemas expertos son: “sistemas de logros técnicos o de experiencia profesional que organizan grandes áreas del entorno material y social en que vivimos” Giddens (1993: 37).

Beck, de 1986, que lleva por título el que nos hemos permitido utilizar para presentar este apartado,⁶⁴ y que presenta la posición de este autor. Nos mueve a ello la visión innovadora que Beck hace del concepto que venimos considerando, utilización de la que se extraen consideraciones que creemos deben ser tenidas en cuenta.

Los principales argumentos de en este libro, como señala David Goldblatt, son tres:

First, Beck outlines the characteristics and consequences of the threats and dangers generated by the processes of modernization and industrialization, focusing on the ways in which they alter the dynamic and constitution of the classical industrial society that has generated them. In short, the process of reflexive modernization –exemplified by the emergence and interpretation of new risks and hazards- is ushering in a risk society from the corpse of a decaying industrial society. Second, Beck connects this widening penumbra of risks and insecurity with complementary processes of reflexive modernization, detraditionalization and individualization in the spheres of work, family life and self-identity. Third, he explores the ways in which these two sets of interconnected processes have altered the epistemological and cultural status of the sciences and the conduct and constitution of contemporary politics (Goldblatt, 1996: 157).

La tesis central del libro de Beck, es que las sociedades industriales actuales tienen su elemento definidor en el riesgo derivado de la utilización de la ciencia y la tecnología. Un riesgo que es global, y por tanto planetario, y cuyos efectos no queridos afectan a todas las clases sociales. Además, siendo la ciencia y la tecnología los causantes de estos efectos indeseados, por lo menos en cuanto a su utilización, no lo son en cuanto a su solución.

A esta tesis general vienen a unirse otras cinco tesis. La primera hace referencia a que el saber científico o anticientífico puede ampliar o reducir el “riesgo”; aunque este está abierto a los procesos sociales de definición, y por tanto las

64 Véase Beck (2001).

posiciones en torno a él se convierten en posiciones sociopolíticas. Esta tesis viene a significar en la práctica una adhesión del autor a las tesis relativistas que ya vimos; puesto que los distintos saberes (más bien creencias, para nosotros) no se privilegian por su procedencia, sino que están abiertos, por lo menos en cuanto a la capacidad definitoria que de este concepto tienen.

La segunda nos dice que las situaciones sociales de peligro son interclases (afectan a todas las clases sociales) y globales (afectan a todos los países, y en último término al planeta en su conjunto), y requieren controles globales (es decir, acuerdos internacionales de vigilancia global de cumplimientos). Esta tesis constata la deslocalización del riesgo, o sea que las fuentes de riesgo de las aplicaciones de la ciencia y la tecnología pueden estar situadas territorialmente en lugares concretos, pero sus consecuencias traspasan los mismos para alcanzar en último término a todo el planeta. Es el caso, por ejemplo, del calentamiento global del planeta por emisiones a la atmósfera de CO₂, o las radiaciones que se produjeron tras el accidente de Chernobil y que se expandieron a través de la atmósfera; pero también el caso de la lluvia ácida, o de casos como el de las vacas locas que traspasan fronteras debido al tránsito derivado del comercio mundial.

La tercera tesis hace referencia a que con el riesgo la economía se vuelve autoreferencial, independientemente de que satisfaga necesidades humanas o no; lo que significa que la sociedad industrial se beneficia económicamente de los propios riesgos que genera, y ello a través de la seguridad que se vende como evitación de los mismos. Es decir, los riesgos dejan de ser efectos colaterales no queridos de la producción destinada a cubrir necesidades esenciales para convertirse en efectos queridos que se producen y aprovechan comercialmente; y que además trascienden su ámbito meramente económico para situarse también en la esfera política de la decisión. Esta conjunción económica y política (en el sentido de administrada más que de disputa argumental entre alternativas en competencia) transforma el proceso social de definición del riesgo en proceso natural de medición que puede ser administrado, y que además está legitimado,

pues obedece a requisitos objetivos avalorativos; aunque oculta los valores en que se basa y niega el riesgo como proceso social abierto a definiciones, al considerar que la única alternativa posible y realmente justificada es la basada en las mediciones científicas. Y es que como nos lo recuerda el propio Ulrich Beck: “Las afirmaciones sobre los peligros nunca son reducibles a meras afirmaciones sobre hechos. Contienen constitutivamente tanto un componente teórico como un componente normativo” (Beck, 2001: 33).

La cuarta tesis señala que el saber del riesgo tiene un gran potencial político, que el saber del riesgo tiene un gran potencial político no se le escapa a nadie: afecta a los medios de producción de ideas y entra directamente en la esfera de las políticas sociales, económicas, industriales, científicas y tecnológicas, medioambientales, de obras de infraestructura, de salud, etcétera. Es por tanto, un concepto de la esfera de la administración política *par excellence*. Pero también lo es de la teoría política, al menos para Beck, en un sentido trascendental. Nos referimos al cambio de determinantes de “ser” y “conciencia”, que este autor señala. En efecto, si en las sociedades industriales tradicionales el ser determinaba la conciencia (la transcripción sería que el ser de una clase social determinaba la visión del “mundo de la vida”); en las sociedades industriales actuales la conciencia determina al ser (se trata de la conciencia de riesgo adquirida por los saberes del mismo en competencia).

En el fondo ese saber hecho conciencia determina el ser en el mundo; y no únicamente como posición ante él, sino incluso como posibilidad de existencia. Con esto queremos decir que las posiciones dominantes en torno al riesgo dependen, en buena medida, de la propia existencia del ser; es decir, del Hombre. Anthony Giddens denomina a estas posiciones como “reacciones adaptativas”, y señala que son cuatro:

Primera, una aceptación pragmática, se manifiesta en una participación pragmática que mantiene su foco de atención en los problemas y tareas relacionadas con el quehacer diario (...) Segunda, un optimismo sostenido,

sostiene que pueden encontrarse soluciones sociales y tecnológicas para los principales problemas mundiales (...) Tercera, un pesimismo cínico, es una manera de atemperar el impacto emocional de las ansiedades, bien sea a través de una respuesta humorística, o una de hastío por el mundo en que vivimos (...) Cuarta, un compromiso racional, es una actitud de contestación práctica contra lo que se perciben como fuentes de peligro. [Decir que] ésta es una postura optimista, pero que a su vez va estrechamente ligada a la acción contestataria en lugar de a la fe en el análisis y la discusión racional. Su principal vehículo es el movimiento social (Giddens, 1999: 129-131).

Ahora entendemos por qué Beck señala que la asignación de situaciones deja de ser clasista para convertirse en civilizatoria; y porque reclama una sociología y una teoría sobre el surgimiento y difusión del saber de los riesgos. La quinta tesis hace referencia al conflicto entre definiciones de riesgo en competencia, se disputa públicamente en torno a ellas. Esto tiene una carga política de gran calado, pues la acción política, en cuanto administración del riesgo, queda abierta a los procesos sociales de definición. En una palabra, la legitimación procedimental del *management* (y de esto no escapa tampoco la industria, o la comunidad científica y tecnológica), basada en la aplicación de métodos que lo justifican, al hacerlo objetivo y avalorativo, queda anulada; puesto que se basa en un saber más que está abierto a la competencia con otros, y por tanto debe ganarse su legitimidad dialógicamente, es decir en el plano político, y no en el plano de los métodos de las ciencias naturales que lo hagan inexpugnable a la evaluación social.

La conclusión central que extraemos de la lectura comprensiva de este libro de Ulrich Beck, es que si el riesgo define a la sociedad, la sociedad debe definir al riesgo. Es imprescindible, por tanto, establecer canales democráticos abiertos donde las distintas definiciones sociales en competencia del concepto riesgo puedan convencer sobre la base de buenas razones. En este sentido:

Si se sitúa como punto central de la cuestión de la *delimitación* de la política, su sentido se concibe como formas de democracia experimental

que ensayan nuevos tipos de colaboración directa y de control compartido, más allá de las ficciones de progreso y de dirección centralizada, nuevos tipos que se basan en derechos declarados y en la subpolítica emergente (Beck, 2001: 285).

3. Algunos riesgos de las nuevas biotecnologías

Los riesgos que plantean las nuevas biotecnologías son complejos y variados, dependen en gran medida de: sus aplicaciones, su grado de intensidad y extensión, y sus ámbitos de aplicación. En realidad, las nuevas biotecnologías están sometidas a una gran incertidumbre; incertidumbre debida en parte a que las distribuciones estadísticas no son suficientes como para establecer probabilidades empíricas fiables. Somos conscientes de que la fiabilidad estadística del uso de las nuevas biotecnologías cumple con los requisitos de las leyes de los grandes números, por lo menos en cuanto a las pruebas en laboratorio se refiere. El problema radica en la ampliación de escala que implica la producción industrial. Y es ahí donde las series históricas de datos son insuficientes para hablar de probabilidades de ocurrencia que sean fiables estadísticamente. No se puede argumentar, al menos si se quiere ser riguroso en las argumentaciones a utilizar, que es improbable que ocurra determinada consecuencia negativa debida a la aplicación industrial de biotecnologías concretas cuando éstas aún no se han incorporado a la producción industrial, o lo han hecho muy recientemente y en una dimensión pequeña todavía. El que se diga que los controles que se establecieron en los laboratorios han dado resultados satisfactorios, y que éstos se seguirán dando en la ampliación de escala, no deja de ser una creencia sin fundamento. Ello es así porque en condiciones de laboratorio se controlan todas las variables, lo cual es imposible en el medio ambiente natural y social. De ahí que los propios expertos en riesgos opinen mayoritariamente que la biotecnología no es inocua. En este sentido, Ángeles Lizón nos dice al referirse a uno de los resultados del estudio que hizo sobre percepción del riesgo, en España, en una población experta: “Tres de cada cuatro encuestados opina que la biotecnología no es inocua, ya que las condiciones

de seguridad en el laboratorio no pueden garantizarse en condiciones de no confinamiento” (Lizón, 1997: 26).⁶⁵ Por tanto, es todavía pronto para evaluar los riesgos reales que plantean estas nuevas tecnologías de la vida, aunque estudios recientes, que veremos en los siguientes apartados, ya han empezado a verificar algunas consecuencias negativas que de ellas se derivan.

3.1 Algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en microorganismos

Las aplicaciones biotecnológicas en microorganismos permiten ir más allá de las técnicas tradicionales, y dotar de nuevas características a los alimentos de consumo humano y animal, y a las plantas. La utilización de microorganismos modificados genéticamente es variada, e incluye aspectos tan distintos como los procesos de fermentación y de purificación a gran escala, utilizados en la industria alimenticia; y el control y/o tratamiento de las emisiones contaminantes, o su remediación *in situ*, utilizados en temas de contaminación. El riesgo se presenta por una posible mutación, evolución, recombinación del microorganismo modificado genéticamente que lo convierta en nocivo para la salud humana o para el nicho natural en que fue introducido.

Ante los riesgos señalados en el párrafo anterior los científicos toman medidas tendentes a reducir al máximo tales mutaciones, evoluciones, recombinaciones con otros microorganismos que resultan peligrosas si llegan a producirse. Tales medidas van desde la esterilización, lo que garantiza que los microorganismos genéticamente modificados no se reproduzcan; hasta mecanismos de autosuicidio, que hacen que éstos una vez cumplida su misión se suiciden, se coman entre ellos hasta desaparecer, o perezcan por falta de alimento en el nicho en que se les ha introducido. Todos estos mecanismos nos hacen pensar que en el tema de microorganismos, al menos desde el punto de vista científico, estamos ante riesgos controlados.

65 En catalán en el original.

3.2 Algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en plantas

Las plantas pueden ser utilizadas como bioreactores para productos farmacéuticos o de interés para el hombre; además puede dotárselas de una mayor resistencia a herbicidas, pesticidas, o que ellas mismas generen su propia resistencia frente a insectos y malas hierbas. Pueden llegar a diseñarse plantas que tengan características de gran valor para el hombre, e incluso pueden obtenerse semillas transgénicas que aumenten el tamaño de productos de cultivo tan importantes como el maíz y el arroz. Hay, como señala Louis Lemkow: “una amplia gama de plantas genéticamente modificadas con rasgos diseñados por genetistas, entre ellas: trigo, arroz, maíz, soja, patatas, tomates, uvas y naranjas” (Lemkow, 2002: 179).

Lo señalado ha hecho pensar que la ingeniería genética aplicada a las plantas permitirá una segunda “Revolución Verde”, con efectos muy positivos para los seres humanos. No obstante, existen riesgos como el que la transferencia genética efectuada en determinadas plantas pueda pasar a otras plantas silvestres de su misma especie, y con ello la especie deseada llegue a desaparecer, o que afecten negativamente a insectos polinizadores.

3.2.1 Riesgos asociados a la producción de plantas diseñadas para que sean herbicidas

En las plantas transgénicas diseñadas para que toleren herbicidas (éstos son utilizados para destruir las malas hierbas que ocupan los nichos de las cosechas y que, por tanto, disminuyen el rendimiento de los cultivos). El problema radica cuando la potencia del herbicida afecta también a las plantas que se quieren proteger; aunque dotándolas de una mayor fortaleza frente a aquél este problema, por lo menos en teoría, deja de serlo. Sin embargo, se corren otros riesgos que es preciso tener en cuenta, como el aumento de la cantidad de herbicida utilizado por cosecha, el aumento de la frecuencia en su utilización, y el aumento

de su potencia destructiva (no olvidemos, al respecto, que el uso de herbicidas produce contaminación de las capas freáticas y otros daños ecológicos) pueden causar la muerte de insectos o animales beneficiosos para el hombre, y producir enfermedades en los agricultores. Si ello es así con herbicidas tradicionales, qué no será con los nuevos que son más potentes, que además se utilizan en mayor cantidad y extensión. En este sentido, un estudio sobre un herbicida fabricado por *Monsanto (RoundUp Ready)*, para sus variedades de soja tolerante a este herbicida, descubrió que los agricultores que producen soja *RoundUp Ready* usaban de dos a cinco veces más de herbicidas en libras aplicadas por acre, en comparación con los otros sistemas populares de control de malas hierbas.⁶⁶

Como señala un estudio del Ministerio de Medio Ambiente y Transporte del Reino Unido sobre los riegos medioambientales de las semillas transgénicas:

La fauna autóctona puede sufrir un descalabro biológico por la falta de insectos y hiervas que conforman su dieta primordial. Como los productos transgénicos han sido preparados para soportar, entre otras cosas, potentes pesticidas, una polinización cruzada entre una plantación transgénica y otra que no lo es obligaría al resto de agricultores a fumigar cada vez más sus propios campos (...) si el viento, una de las vías esenciales del polen, lleva los diminutos granos de polen de una cosecha transgénica a otra tradicional, la mezcla puede modificar la configuración genética de esta última. En algunos casos ya demostrados en ensayos de invernadero, el resultado es una planta estéril o sumamente debilitada. En conclusión, un híbrido con grandes problemas de supervivencia (Ferrer, 18 de febrero de 1999).

Además, en este proceso de extensión en volumen de uso y potencialidad destructiva, pero también territorial, se olvida que existen otros medios de control de las malas hierbas que son menos dañinos para el medio ambiente y la salud de los trabajadores del campo. Pensamos, por ejemplo, en cultivos intercalados, capas vegetales, o el uso de abonos verdes.

66 Véase al respecto C. Benbrook (1999).

3.2.2 Riesgos asociados a la producción de plantas diseñadas para ser resistentes a insecticidas o insectos

Las plantas transgénicas diseñadas para ser resistentes a insecticidas plantean riesgos similares a los ya apuntados para el caso de las plantas resistentes a herbicidas. En este sentido, poder utilizar un mayor volumen de insecticidas en las mismas puede suponer una mayor contaminación de los campos y de las capas freáticas, mayores problemas de salud para los agricultores que se ven expuestos a ellos, e incluso para los consumidores finales de los productos agrícolas, o la población en general debido a la polinización de las plantas y las alergias que la misma produce. Por otro lado, se pueden llegar a exterminar insectos beneficiosos para las propias cosechas, o que se vea afectada la polinización que los mismos realizan.

Respecto a las plantas diseñadas para ser resistentes a insectos, son plantas que matan o repelen a los insectos que las atacan; y se basan, al menos en la mayoría de los casos existentes actualmente, en la modificación de un gen de la bacteria del suelo *Bacillus thurigiensis* (Bt), el cual hace que la planta produzca de forma activa una endotoxina en toda la planta, incluidas hojas y frutos. En la actualidad existen cultivos de maíz, patatas, tomates, arroz y algodón Bt transgénicos en varias partes del mundo, siendo estos últimos los más difundidos. No olvidemos que el *Bacillus Thurigiensis* es el primer biopesticida comercializado a escala global, y que como nos lo recuerda Robin Jenkins: “*Bt plants are already being grown on a ground scale in the US. In 1997, farmers sowed about 2.8 million hectares of Bt maize, 680 000 hectares of Bt cotton and 10 000 hectares of Bt potatoes*” (Jenkins, 1998: 6).

Otro dato importante respecto al interés comercial del Bt es el del número de patentes que tienen en él su base, y las empresas que las poseen. Al respecto, según datos de *Derwent biotechnology* de junio de 1998, existían 482 patentes basadas en Bt que se distribuyan de la siguiente forma: 98 eran propiedad de *Dow Agro Science*, 36 de *Novartis*, 25 de *Monsanto*, 25 de *Nova Nordisk*, 24 de *Agrevo*

Hoechst-Shering, 22 de *Ecogen*, 22 del *Institute Application Microbiology of Russia*, y 20 de *Toa-Shynth chemical*. Como se ve existe una gran concentración de la propiedad intelectual de los biopesticidas basados en Bt, que curiosamente está dominada por las empresas agroquímicas.

Uno de los problemas que presentan estos cultivos, es que en ellos se acelera el proceso de diseminación de resistencia genética a la endotoxina Bt entre los insectos que se alimentan de las plantas de las cosechas. De hecho, científicos de la Universidad de Carolina del Norte, Estados Unidos de América, encontraron genes de resistencia a Bt en poblaciones silvestres de una plaga de isocas (larva de *lepidóptero* que se alimenta del maíz).⁶⁷

Otro problema es el que resulta de la diferencia de la endotoxina de la planta transgénica con respecto a lo que ocurre naturalmente en la bacteria. Esto puede causar perturbaciones ecológicas debido a la toxicidad en insectos benéficos y otros organismos no considerados objetivo, lo que ya ha sucedido. En este sentido, investigadores de la Estación Federal de Investigaciones Agroecológicas y Agrícolas de Suiza observaron un aumento de la mortandad, de más de dos tercios, en las larvas del crisopo verde, un importante predador de las plagas de maíz, al ser alimentado con taladro del maíz europeo o con larvas de escaira criadas con maíz *Novartis* Bt, en comparación con las larvas de crisopo alimentadas con isocas criadas con maíz no transgénico.⁶⁸ Este maíz Bt de *Novartis*, según datos presentados por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense, también dañó a la colembola, un insecto no volador que se alimenta de hongos y desechos del suelo; y que es considerado como beneficioso (EPA MRID n° 434635).⁶⁹

Otro estudio, el de C. Hansel Jesé y Jhon J. Obrycki, del departamento de entomología de la Universidad de Iowa, señaló:

We present the first evidence that transgenic Bacillus Thuringiensis (BT) corn pollen naturally deposited on Asclepias Syriaca; common

67 Véase F. Gould *et al.* (1997: 3519-3523).

68 Ver al respecto A. Hillbeck, *et al.* (1998: 480-487).

69 Citado por Hansen (2000: 17).

milkweed, in a corn field causes significant mortality of Danans Plexipuus L (Lepidoptera Danaidae) Larvae; common monarch butterfly larvae (Jesé y Obrycki, 2000: 241).

Recordemos que la mariposa monarca es beneficiosa, puesto que interviene en la polinización de las plantas de la variedad *Asclepia Syriaca* y, además, ingiere las toxinas cardiac glycosides provenientes de éstas.

Los cultivos Bt no son los únicos con plantas resistentes a insectos que tienen efectos tóxicos sobre insectos beneficiosos. Así experimentos realizados en Escocia, sobre patatas transgénicas que contenían un gen de la *lectina* (Las lectinas son una clase de proteínas que resisten la digestión de los insectos) de la campanilla blanca, demostraron que los escarabajos mariquitas vaquita de San Antonio que comían áfidos y que se alimentaban con patatas transgénicas, ponían hasta un 38% menos de huevos, y vivían la mitad que los que se alimentaban con áfidos criados con patatas no transgénicas.⁷⁰

3.2.3 Riesgos asociados a la producción de plantas transgénicas diseñadas para ser resistentes a virus

Las plantas transgénicas diseñadas para ser resistentes a los virus, plantas que contienen genes de un virus que les confiere resistencia a otras cepas de ese mismo virus, plantean el problema de que estos genes pueden mezclarse con otros virus que infectan la planta; creando de esta forma nuevas combinaciones de genes, de las que algunas pueden ser nuevos virus peligrosos. En este sentido, un experimento realizado por investigadores de *Agriculture*, en Canadá, demostró que la mezcla de genes entre distintos virus puede ocurrir. El experimento consistió en infectar una planta con un virus mosaico de un pepino enfermo al que le faltaba el gen que permitía que el virus se moviera entre las células de la planta. Los investigadores tomaron el gen de movimiento equivalente de otro virus y lo pusieron en las mismas plantas. El resultado fue que en menos de dos

⁷⁰ Véase al respecto A.N.E. Birch *et al.* (1997: 66-72),

semanas encontraron virus mosaico funcionando en una de cada ocho plantas.⁷¹

3.2.4 Contaminación genética

La llamada contaminación genética se da si los transgenes (los transgenes son los genes introducidos en la planta para que expresen en ésta los rasgos deseados) pasan a otras plantas del mismo tipo. La contaminación genética amenaza seriamente a la agricultura ecológica. Existen ya ejemplos de ello:

En 1999 una compañía estadounidense de productos ecológicos, Terra Prima, tuvo que destruir 87,000 bolsas de “chips” de maíz ecológico que había enviado a Europa cuando los análisis revelaron que el embarque contenía maíz transgénico, aunque el maíz de estos productos era cultivado por un agricultor ecológico de Texas. Se piensa que el flujo de genes de un establecimiento agrícola vecino fue culpable de la contaminación (Hansen, 2000: 19).

Otro ejemplo lo encontramos en la demostración realizada por investigadores estadounidenses de que más del 50% de las fresas silvestres que crecían a 50 metros de un campo de fresas transgénicas contenían genes marcadores de éstas. Posteriormente se halló, también por un grupo de investigadores norteamericanos, que más del 25% de girasoles silvestres que crecían cerca de campos de girasoles transgénicos cultivados tenían el gen marcador de éstos.⁷²

El problema que se plantea con el traspaso de los genes modificados de plantas de cultivo a sus parientes silvestres, es que éstas puedan mejorar su adecuación al medio que las rodea, y crear de esta forma supermalezas. Este temor es aún mayor si tenemos en cuenta que once de las dieciocho especies de malas hierbas más graves del mundo tienen variedades de cultivo, que no son malas hierbas, que se cultivan regularmente.⁷³

71 Véase K. Kleiner (1997).

72 Véase al respecto J. Kling (1996: 180-181).

73 Véase L. Holmes *et al.* (1997).

Por ejemplo, si el gen para la tolerancia a un herbicida escapa hacia las especies silvestres consideradas como malas hierbas, éstas pueden llegar a ser inmunes a estos herbicidas, e incluso transmitir esta inmunidad a sus descendientes. Lo mismo ocurre con la utilización de los biopesticidas que utilizan la *endotoxina Bt*. El traspaso de la tolerancia a la planta silvestre considerada como mala hierba podría hacerla inmune a las plagas de mariposas, isocas y escarabajos. Esto puede conllevar la disminución de especies animales que se alimentan con estas plantas silvestres, así como un aumento peligroso de éstas. Lo mismo se puede decir si el salto se produce entre una planta cultivada resistente a un virus y su pariente silvestre que es mala hierba. De hecho, ya existe evidencia científica de que esta contaminación genética es posible. Un estudio realizado en Dinamarca con la semilla de colza resistente al *glufosinato* (BASTA) (el *glufosinato* es un insecticida no selectivo. Lo cual significa que mata cualquier planta que entre en contacto con él),⁷⁴ demostró que la resistencia aparecía en solo una generación en la mostaza, una especie silvestre relacionada que se cultivaba cerca de la colza transgénica tolerante al herbicida.⁷⁵

Decir también que este híbrido de mala hierba resistente al herbicida *glufosinato* era tan fértil como la mala hierba natural misma; y que el transgen de tolerancia al herbicida podía persistir en la población de malas hierbas incluso en ausencia de selección, y ello con la sola condición de la aplicación del herbicida.⁷⁶

Por último, los transgenes aumentan incluso la posibilidad de cruces entre plantas. En este sentido, un estudio realizado en 1998, en el que se insertó en plantas un gen de resistencia al herbicida *clorosulfuro* en mostaza (*Arabidopsis thaliana*), mostró que estas plantas modificadas genéticamente tenían 20 veces más posibilidades de cruzarse con otras plantas de *Arabidopsis thaliana* que los mutantes comunes. Por tanto, la modificación genética efectuada aumentó el flujo de genes dramáticamente, y convirtió funcionalmente una planta que se

74 Este se vende bajo las marcas *BASTA*, *Liberty*, y *Pre-harvest treatment*.

75 Véase al respecto T.R. Mikkelsen, B. Andersen, y R.B.Jorgensen (1996: 31).

76 Ver al respecto A.A. Snow, y R.B. Jorgensen (1998).

reproduce en el estado natural solo consigo misma en una capaz de cruzarse con otras.⁷⁷

3.2.5 Riesgos asociados a la utilización de antibióticos como marcadores en la producción de plantas transgénicas

Otro riesgo que representa la utilización de las nuevas biotecnología en el reino vegetal, es el derivado de la utilización de antibióticos como marcadores. El problema arranca de las propias deficiencias de la ingeniería genética, y más concretamente de los procesos de inserción del gen deseado en el nuevo anfitrión. Recordemos que los genes son movidos con el equivalente molecular a una pistola; y que durante el proceso los científicos cubren miles de células en una placa Petri antes de obtener una planta donde aparezca el rasgo deseado.

Este rasgo deseado no es a menudo patente, por lo que se hace necesario insertar un gen marcador junto al gen que se quiere obtener. Pues bien, el gen marcador más comúnmente utilizado para las plantas transgénicas es un gen bacteriano resistente a antibióticos. El riesgo radica en que estos genes resistentes a antibióticos puedan pasar de las plantas cultivadas a las bacterias del medio ambiente, y ello debido a la facilidad que éstas tienen de intercambiar genes de resistencia a aquéllos. En este proceso las bacterias del medio ambiente podrían también combinarse con otras causantes de enfermedades humanas, y volver a estas, resistentes a antibióticos que anteriormente eran eficaces para combatirlos. En este sentido, la directiva que autoriza la comercialización de los transgénicos votada en el Parlamento Europeo el 14 de febrero de 2001, y que de hecho ponía fin a la moratoria sobre dichos productos vigentes desde 1998, establece medidas precautorias como la supresión de los transgénicos resistentes a los antibióticos antes de finales de 2004, y la de los organismos resistentes a los antibióticos empleados en investigación antes de 2008.⁷⁸

77 Véase J. Bergelson, C.B. Purrington, y G. Wichmann (1998: 25).

78 Véase al respecto la Directiva 2001/18/CE, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente y por la que se deroga la Directiva 90/220/CEE. (DOCE L 106 de 17 de abril de 2001).

3.3 Algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en animales

La creación a través de ingeniería genética de animales, o razas con características determinadas, que los hacen más apetecibles desde el punto de vista comercial y del consumo humano de alimentos, puede suponer riesgos para la salud del propio hombre o del animal derivados de alguna mutación producida por la manipulación genética efectuada; mutación que se traduzca, por ejemplo, en una toxina perjudicial que al ingerirse produzca una enfermedad, o que combinada con otras sustancias, o por acumulación, tenga la misma consecuencia. También puede suceder que el animal manipulado genéticamente tenga ventajas competitivas para la supervivencia frente a los autóctonos u otras especies, lo cual podría producir la desaparición de estos últimos, y el consiguiente desequilibrio del ecosistema en el cual fue introducido.

El ejemplo más claro de esto lo constituyen los peces modificados genéticamente, y más en concreto el que se refiere al salmón. En este caso se efectúa una inserción de un gen productor de la hormona del crecimiento en los huevos del salmón, y ello a fin de aumentar el tamaño del pez. Además, se efectúan determinados diseños genéticos que después se le introducen para elevar el umbral de tolerancia al estrés y al hacinamiento; aumentar su resistencia a las enfermedades que les afectan; retardar la edad de maduración sexual, lo que permite incrementar el tamaño y el peso de los peces en un menor tiempo. Como señalan Luis Moreno, Louis Lemkow y Ángeles Lizón: “Es verdad que muchos de estos resultados ya habían sido obtenidos por medio de técnicas tradicionales. Empero, la manipulación genética acelera notoriamente estos procesos y permite, asimismo, introducir nuevas peculiaridades específicas.” (Moreno, Lemkow y Lizón, 1992: 26).

Resultan claros los beneficios de obtener salmones con las características antes apuntadas, pero también lo resulta que esos “nuevos salmones” plantean distintos riesgos que vale la pena tener en cuenta. Por ejemplo, el pez puede escaparse de

la piscifactoría y cruzarse con los salmones silvestres, lo que podría llevar en el largo plazo a la desaparición de especies silvestres, con la consiguiente pérdida de diversidad genética que ello supondría. Otra consecuencia podría ser que el cruce masivo entre salmones modificados genéticamente y silvestres condujera a una nueva especie menos adaptada al medio natural que le es propio, y por tanto se viera afectada su reproducción, e incluso su propia supervivencia. Por otra parte, los salmones manipulados genéticamente podrían competir con ventaja en la obtención de alimentos frente a otras especies, especies que verían reducidos sus alimentos, y podrían, incluso, llegar a desaparecer por su falta. Ello originaría daños y desequilibrios en los ecosistemas locales difícilmente evaluables.

3.4 Riesgos sobre la salud que plantean las nuevas biotecnologías aplicadas a los campos del diagnóstico y la terapia génica

Respecto a los riesgos sobre la salud planteados por los diagnósticos genéticos, consignar que por el momento, y sobre la base de la información que de ellos disponemos, todo parece indicar que los practicados para detectar enfermedades genéticas en personas ya adultas se limitan a las repercusiones psicológicas que sobre un individuo puede tener la noticia de que padecerá, con una seguridad próxima a la absoluta, enfermedades hereditarias tan terribles como el corea de Huntington o la fibrosis quística. Respecto a los diagnósticos efectuados en un embrión, procedimientos como el de la *amniocentesis* o el análisis de sangre fetal que se practican a partir de la 14ª semana del embarazo plantea el grave inconveniente que la decisión de un aborto se toma relativamente tarde, lo que conlleva los consiguientes problemas psicológicos y de peligro para la vida de la mujer que decide abortar. Si bien es cierto que aquí no es propiamente el diagnóstico genético el que plantea el riesgo, sí lo es que la decisión de aborto puede depender de los resultados del mismo. Afortunadamente, nuevos métodos como la toma de muestras de *vellosidades coriónicas* posibilitan que el diagnóstico genético se efectúe entre la novena y la undécima semana del embarazo, permitiendo de esta

forma tomar decisiones de aborto con menos riesgos para la mujer que decide abortar.

Los riesgos sobre la salud planteados por las terapias génicas están todavía en un periodo de incertidumbre. En realidad, la misma terapia génica está todavía en sus inicios. Es por ello que todavía no existen suficientes datos para establecer qué riesgos plantea. Aunque esto no quiere decir que no existan casos documentados en los que pacientes que estaban siendo tratados con terapia génica hayan fallecido. Respecto a esto: “*The National Institutes of Health and the Food and Drug Administration [de los Estados Unidos] opened hearing to explore the safety of gene therapy treatment after a teen died while receiving the experimental care.*” (Dentzer, 1999).

Existe todavía un gran desconocimiento sobre las funciones de algunos genes, o de cómo éstos se interrelacionan con ellos mismos y con el ambiente. Por otra parte, los métodos de introducción de secuencias genéticas son todavía demasiado imperfectos para garantizar resultados óptimos y con el mínimo riesgo para la salud del paciente. Además, está el problema de que las secuencias introducidas en células que no son madre tienen una longevidad limitada por la propia vida de la célula en la que se introdujo la secuencia genética.

Por otro lado, resulta extremadamente complicado acertar a introducir secuencias genéticas en células madre, lo que garantizaría su constante reproducción en el organismo. No obstante, debemos hacer constar que, en febrero de 2003, James Thomson, de la Universidad de Wisconsin (EEUU), y su colega Thomas Zwaka, de origen alemán, consiguieron, según publicaron en la revista *Nature Biotechnology*, en diciembre de 2002, manipular genes de células madre embrionarias, con el objetivo de dirigirlas hacia la formación de tejidos determinados, útiles en terapias clínicas, lo que permite manipular cualquier parte del genoma humano.⁷⁹

79 Véase al respecto Thomson *et al.* (2002: 1261-1264).

Introducir secuencias genéticas en las células madre tiene la consecuencia negativa de aumentar considerablemente el riesgo para la salud del individuo en caso de que la secuencia genética mutara y alterara funciones del organismo. La terapia en las líneas germinales acentúa los problemas y riesgos planteados más arriba para la línea somática, ya que las secuencias genéticas introducidas en un individuo serán heredadas por sus descendientes sobre la base de determinadas probabilidades.

3.5 Riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en la manipulación de alimentos

Referente a la manipulación genética en alimentos, las empresas que las realizan dotan a productos tradicionales, como puede ser el tomate, de un sabor distinto, o de un tiempo de maduración superior; características éstas que hacen más atractivo el producto desde el punto de vista del consumidor. Recordemos que fueron la soja y el maíz genéticamente modificados las primeras aplicaciones de la tecnología genética en cultivos alimenticios. La primera ha sido manipulada genéticamente para volverse resistente a herbicidas; el segundo para ser más resistente a éstos y a los insectos que se alimentan de él. Tampoco debemos dejar de lado que de estos dos cultivos se obtienen un gran número de otros ingredientes: aceite vegetal, *lectina*, proteínas de soja, potenciadores de sabor y fécula. Más de la mitad de los alimentos empaquetados que ofrecen los supermercados contienen dichos ingredientes. Y es que, por ejemplo, las aplicaciones de la modificación genética en cultivos alimenticios alcanzan aspectos tan variados como: “Soja y maíz resistente a los herbicidas, maíz resistente a los insectos que se alimentan de él, tomates de vida más prolongada, remolacha azucarera resistente a los virus, soja a prueba del frío, colza con ácidos grasos no saturados, arroz con más vitamina A.” (Hansen, 2000: 26).

Si atendemos a productos concretos, la modificación genética la encontramos, por ejemplo, en:

Tortillas y harina de maíz, mermeladas y conservas, comida enlatada, comida para bebé, aceites, aderezos y mayonesas, sopas y alimentos preparados, botanas, dulces y golosinas, postres y edulcorantes, zumos y bebidas, galletas y pan dulce, purés y harina, productos lácteos, cereales, alimentos para mascotas, bebidas alcohólicas, comida rápida, comida congelada, alimentos orgánicos.⁸⁰

El riesgo vuelve a plantearse aquí a la hora de que la modificación genética efectuada pueda generar algún tipo de mutación, o modificación evolutiva, que provoque que el producto alimenticio se convierta en tóxico para quien lo consuma. Esto puede suponer un problema de salud importante. De hecho, un aminoácido llamado *L-triptófano* vendido en Estados Unidos como suplemento dietético por la empresa *Showa Denco* de Japón, utilizando bacterias genéticamente modificadas (*Bacillus amylolique fascines*) provocó una enfermedad en 1989 aparentemente nueva, el llamado *Síndrome de Mialgia Eosinófila* (EMS), caracterizado por problemas neurológicos y autoinmunes crónicos. Cerca de cinco mil personas fueron hospitalizadas por esta enfermedad, de las cuales mil quinientas quedaron discapacitadas permanentemente, y treinta y siete fallecieron.⁸¹

Además está el problema de que a través de la ingeniería genética se pueden transferir genes alergénicos de alimentos de los que las personas se saben alérgicas a alimentos que consideran seguros. Al respecto, en marzo de 1996, investigadores de la Universidad de Nebraska, Estados Unidos, confirmaron que un gen alergénico de la nuez de Brasil había sido transferido a la soja (concretamente, la compañía *Pioneer Hi Bred International* puso en la soja el gen de la nuez de Brasil que codifica una proteína de la semilla, y lo hizo para mejorar su contenido proteico como pienso animal); y que los individuos alergénicos, en un ensayo *in vitro* y una prueba sobre la piel, reaccionaron ante la soja transgénica como lo hubiesen

80 Estos datos son válidos solo para México y han sido elaborados por Greenpeace en base a las declaraciones escritas proporcionadas por las empresas procesadoras de alimentos. Los datos son del año 2000. Véase <http://www.greenpeace.org.mx/php/doc.php?f=tr-prod-trans.xml>.

81 Ver al respecto A.N. Mayano, y G.J. Gleich (1994: 346-352).

hecho ante la nuez de Brasil a la que eran alérgicos.⁸² Recordemos que son las proteínas las que causan las reacciones alérgicas; y que de cada transferencia de genes en los cultivos resulta una producción de proteínas que van más allá de las fuentes de alérgenos comunes, al provenir éstas de plantas de todo tipo, bacterias y virus, cuyo potencial alérgico es todavía bastante desconocido.

4. Percepción de riesgo en las nuevas biotecnologías

No queremos acabar nuestro recorrido por este tema tan importante, y a la vez tan debatido, del riesgo que plantean las nuevas biotecnologías sin decir alguna cosa sobre su percepción. El concepto de “percepción” hace referencia aquí a varias clases de actitudes y juicios; éstas no se restringen tan sólo al estudio de variables psicológicas, sino que incluyen también variables sociales. Comprender como se produce esta percepción es muy importante para establecer cuáles son las actitudes respecto a las nuevas biotecnologías; pero también para conocer mejor los mecanismos que utilizan el público lego y el público experto a la hora de legitimar o estigmatizar a éstas. Con este fin vamos a utilizar uno de los paradigmas existentes en los estudios sobre la percepción del riesgo, el psicométrico. Este paradigma nos parece interesante y útil para abordar este tema; de hecho, sus estudios ya han dado resultados prometedores. Además, presentamos algunos de los resultados obtenidos por un equipo español, dirigido por Ángeles Lizón, de la Universidad Autónoma de Barcelona, quien trabajó sobre la percepción del riesgo de la biotecnología en una población experta, en España, en un proyecto financiado por la Comunidad Económica Europea.⁸³

4.1 La percepción del riesgo en el paradigma psicométrico

Los orígenes de la psicometría se remontan a 1969. En ese año C. Starr publicó en *Science* su artículo: “*Social Benefit Versus Technology Risk: What is our Society*

82 Véase J.A. Nordlee *et al.* (1996: 688-692).

83 Agradezco a la profesora Ángeles Lizón el que me proporcionará parte del material que voy a utilizar aquí.

Willing to Pay for Safety?” En este artículo Starr desarrolla un método para pesar el riesgo tecnológico, y confronta a éste con los beneficios que comportan las tecnologías. Esto lo realiza para responder a una pregunta fundamental: ¿cuándo existe suficiente seguridad? La propuesta de este autor ya contiene en ella algunas de sus preferencias. Por ejemplo, su aproximación asume que a través de pruebas de ensayo y error la sociedad llega a balancear óptimamente riesgos y beneficios asociados a cada actividad; lo que supone que se pueden utilizar ambos en su dimensión histórica o actual en la creación de modelos de aceptabilidad del riesgo. Las conclusiones a las que llega este autor son: la aceptación del riesgo se convierte en algo que es directamente proporcional al beneficio que se extraiga de la actividad que lo origina, que es mucho mayor cuando la actividad que lo ocasiona es voluntaria que cuando no lo es, y que es inversamente proporcional al número de personas expuestas a él.

Las críticas a este modelo tardaron algunos años en llegar. Así H. Otway y J.J. Cohen, en su trabajo de 1975: *Revealed Preferences: Comments on the Starr Benefit-Risk Relationships*, y B. Fischhoff, P. Slovic, y S. Lichtenstein, en su artículo: “*Weighing the risk*,” de 1979; plantearon las siguientes: “El conservadurismo político que supone encerrar los acuerdos económicos y sociales actuales bajo la equiparación de que los riesgos aceptados son aceptables; la omisión que hace el modelo de Starr de las cuestiones de distribución, en el que incluso no se plantea quién asume qué riesgos y quién se lleva qué beneficios; la asunción de que la gente toma decisiones en el tema del riesgo como lo haría en el Mercado, es decir, de forma racional y con la misma libertad de elección; el supuesto que hace de que los decisores tienen total información sobre el riesgo y la utilizan óptimamente; las medidas usadas para las conclusiones realizadas”. Se hacía, pues, necesario afinar los análisis que se realizaban en torno a la percepción del riesgo; y para ello era fundamental encontrar nuevos métodos de aproximación a la misma, pero también un nuevo marco teórico y conceptual. De esta forma se introdujeron, por un lado, una amplia variedad de métodos

de escala psicométrica para medirla cuantitativamente: técnicas de estimación de magnitudes, y escalas numéricas de clasificación; también se introdujeron métodos tradicionales para observar cuestiones relacionadas con la actitud, y métodos no tan tradicionales como el de la asociación de palabras y de generación de escenarios. Por otro lado, se ampliaron las características que inciden en el riesgo, y así, por ejemplo, se incluyeron en el mismo la voluntariedad, el potencial catastrófico, el control, el temor. Se asumió que la gente tiene dificultades en darle significado a las cuestiones relacionadas con el riesgo, sino es que les resulta imposible, que este es inherentemente subjetivo; es decir, que no existe fuera de nuestras mentes y culturas; y que el público lego tiene sus propios modelos de asunción y evaluación respecto a él, modelos que se basan en la intuición, y que no se corresponden, en muchas ocasiones con los utilizados por los científicos. En resumen, como nos lo recuerda Paul Slovic:

The psychometric paradigm encompasses a theoretical framework that assumes that risk is subjectively defined by individuals who may be influenced by a wide array of psychological, social, institutional, and cultural factors. The paradigm assumes that, with appropriate design of survey instruments, many of these factors and their interrelationships can be quantified and modeled in order to illuminate the responses of individuals and their societies to the hazards that confront them (Slovic, 1992: 120).

Los resultados iniciales obtenidos sobre la base de este nuevo modelo hicieron patente que era correcta la hipótesis inicial referida a la diferencia entre los juicios de riesgo realizados por el lego, y los realizados por el experto. En efecto, mientras que para éste se le representa como una estimación técnica de mortalidad esperada; para aquél incluye aspectos como el potencial catastrófico, o el miedo sobre las repercusiones para generaciones futuras. Otros resultados obtenidos fueron que este concepto significa cosas diferentes para diferente gente; y que el lego tiende a considerar que el riesgo actual está en un nivel inaceptable en

muchas de las actividades que se realizan habitualmente, no está de acuerdo que sea el Mercado el que las regularice, y exige normativas y mecanismos de control que bajen el riesgo que producen.

Una de las perspectivas recientes con las cuales el paradigma psicométrico se ha aproximado a la percepción del riesgo, es la de la “intuición toxicológica”. A través de ésta se exploran modelos cognitivos, asunciones, y métodos de inferencia con los que el público lego llega a establecer teorías intuitivas sobre la toxicología; comparándose éstas con los modelos cognitivos de asunción y de inferencia utilizadas en los modelos científicos. Los estudios realizados al respecto, como los de Kraus, Malfors, y Slovic,⁸⁴ dieron resultados como que los humanos siempre tienen una intuición de la toxicología basada en los sentidos, intuición que la ciencia sustituye por otros métodos de detección; aunque ello no quiere decir que ésta evite ser también subjetiva, con sus propias asunciones y juicios, en sus evaluaciones sobre aquélla. En resumen, como nos lo recuerda Paul Slovic:

The data showed substantial differences in the attitudes and beliefs of experts and laypeople. Laypeople tended to believe that any exposure to a toxic substance or carcinogen, no matter how small, was likely to prove harmful. Toxicologist had, as expected, a much more differentiated sense of the relationship between dose and degree of opinion exposure and harm (Slovic, 1992: 149).

Ello no quiere decir que la actitud del público lego sea irracional, sino que es distinta, basada en otros criterios, a la del experto. Estas diferencias pueden conducir a deslegitimar la opinión experta, e incluso la gestión del riesgo, al no tenerlas en cuenta, o no estar éstas de acuerdo con consideraciones como la equidad, el potencial catastrófico, el control sobre éste; consideraciones éstas que son importantes para el lego. Por tanto, las mismas deben ser consideradas en las

84 Ver al respecto N.N. Kraus, T. Malfors, y P. Slovic (1992: 215-232).

decisiones políticas respecto al riesgo, y no sin más renunciar a las percepciones del lego tachándolas de irracionales. El problema se plantea en cómo integrar dichas percepciones en la política y gestión del riesgo, y es ahí donde el paradigma psicométrico puede ayudar.

4.2 La percepción del riesgo de los expertos españoles sobre las nuevas biotecnologías

Para realizar este apartado hemos hecho uso, como ya se dijo, del estudio de Ángeles Lizón titulado: *A metric evaluation of components of public perception in the face of biotechnological risk*.⁸⁵ Este estudio fue llevado a cabo durante los años 1994-1995, aunque el informe se finalizó en el verano de 1996. Los núcleos de la investigación del mismo fueron la percepción de los componentes centrales del riesgo biotecnológico, especialmente los relativos a la seguridad de diferentes acciones biotecnológicas, y las consecuencias negativas, con posibles impactos adversos, asociadas a distintos usos experimentales médicos o industriales de la biotecnología. Se usó una metodología *Delphi* para llevar a cabo el estudio.

No analizaremos con detenimiento los resultados de este, pero sí nos interesa resaltar algunos de ellos. En primer lugar, existe consenso entre los expertos españoles sobre que la interacción de OGM con el medio ambiente es problemática en el caso de virus y microorganismos, y no lo es en el caso de plantas y derivados para el consumo humano. En segundo lugar, consideran que los procedimientos de seguridad que se establecen son seguros en la investigación experimental confinada, es decir, de laboratorio, en el diseño de ingeniería para proyectos, en el control de residuos de experimentación, y en los procesos de utilización industrial, pero no lo son en el uso masivo para el consumo. En tercer lugar, no existe consenso entre los expertos españoles en la asignación de importancia a los accidentes o incidentes derivados del uso experimental de las nuevas biotecnologías; como tampoco en la asignación de posibilidades de

85 Un resumen del mismo lo podemos hallar en Lizón (1997: 22-36).

detección rápida de las consecuencias adversas en incidentes con OGM. En cuarto lugar, hay consenso en que se pueden controlar o paliar los efectos adversos en incidentes biotecnológicos serios en los casos de organismos inocuos que se vuelvan nocivos, semillas modificadas genéticamente, cuando afecta a plantas de forma continuada o genérica, y cuando las afectadas son especies animales.

El estudio también constata la diferencia de opinión según el grado de conocimiento que se disponga sobre las nuevas biotecnologías. En este aspecto señalar que para el 91% de los entrevistados del grupo familiar, la biotecnología es inocua, y lo mismo para el 73% del grupo conocedor y para el 62% del grupo experto. Como señala Ángeles Lizón: “En este caso existen diferencias significativas entre los grupo ($p=0,04$) y también la tendencia lineal ($p=0,02$). Los expertos tienden a contestar más negativamente que el resto de la muestra” (Lizón, 1997: 29).⁸⁶ Aunque, curiosamente, es precisamente este grupo el que considera en menor medida que se produzcan situaciones indeseadas, que sea problemática la interacción entre OGM y medio ambiente, que se pueden controlar eficazmente los aspectos nocivos de productos de ingeniería genética destinados al consumo, y que no es problemática la determinación experimental de la función génica en el caso de virus y microorganismos. Todos estos aspectos muestran la confianza de los expertos en la seguridad y eficacia de los procedimientos técnicos utilizados.

Existe, pues, una discrepancia en el grupo más experto entre la confianza que muestran en la seguridad y la eficacia de los procedimientos técnicos que utilizan, con la evaluación global que hacen sobre la inocuidad de las nuevas biotecnologías. Esta discrepancia hace suponer, como lo hace la propia directora del estudio que estamos comentamos, que existen otros factores, distintos a los de la seguridad y eficacia de los procedimientos técnicos utilizados, que inciden en el juicio especializado a la hora de evaluar la inocuidad de la biotecnología. Estos factores, como veremos a continuación, están relacionados con una drástica ampliación de escala en las utilidades de estas tecnologías de la vida. Como

86 En catalán

se ve, los juicios emitidos por los expertos tenían como referencia un escenario donde la utilización de la biotecnología se producía en un ambiente confinado, es decir, en laboratorio; centrado principalmente en efectos negativos directos o diferidos que podían ser anticipados, y que se asociaban a las utilidades que hemos mencionado. Pero no toda utilización de la biotecnología, no al menos la que hace la industria, se realiza en ambientes cerrados que pueden controlarse.

Hay, pues, que introducir la ampliación de escala con sus correspondientes efectos secundarios o de composición, con sus factores exógenos, con su potencial de introducir efectos combinativos inciertos, con sus consecuencias no anticipadas y técnicamente no controlables, con sus resultados irreversibles, con sus impactos nocivos. Esta introducción dio como resultado, en el estudio que comentamos, una evaluación distinta de las tecnologías de la vida, en buena parte debido a que los efectos secundarios o de composición se escapaban al juicio estrictamente técnico; y aclaró la discrepancia mostrada por los expertos entre el juicio técnico sobre la seguridad en los procedimientos y la evaluación global de no inocuidad de la biotecnología.

Pero veamos cuáles fueron los resultados de este segundo cuestionario del estudio, mismo que está dedicado a evaluar la opinión de los expertos frente a este nuevo escenario de aplicación industrial de la biotecnología, y por tanto con una drástica ampliación de escala. El primer resultado a destacar es que hubo poco acuerdo respecto a la posibilidad de que sucedan los efectos secundarios, indirectos o de composición que se mencionaban: efectos laterales no deseados (1), efectos agregados (2), interacción en cascada (3), colonización o invasión (4), mecanismos con refuerzo sinérgico (5), efectos diferidos asociados a umbrales de tolerancia (6). Ni siquiera en el grupo de los más expertos hubo acuerdo, grupo que por otra parte no se alejó significativamente en sus opiniones del grupo no experto. Sin embargo, respecto a la estimación de la relevancia o significación negativa de las posibles consecuencias negativas, existe un nivel muy alto de consenso entre el grupo de no expertos y de expertos; siendo la opinión de estos

últimos un poco menos categórica. Los mismos convergen en cuatro de los seis efectos mencionados (2, 3, 4, y 5), y sobre sale de ellos el caso 5 referido a los mecanismos con refuerzo sinérgico. Por otro lado, resaltar que donde existe menos acuerdo (1,2) es en los efectos más próximos a los primarios o directos que tratamos anteriormente.

En cuanto a la ponderación subjetiva de la posibilidad de ocurrencia, y estimación prospectiva de la significación adversa de algunos impactos asociados a efectos indirectos, la siguiente tabla nos muestra algunos de los resultados más significativos.

Los asteriscos muestran los impactos donde existe consenso de ocurrencia o no ocurrencia de los impactos asociados a los efectos indirectos que se mencionan. Vemos como, de los mismos, existe consenso entre los encuestados de que son posibles los seis primeros, y no lo es el último. Por otro lado, quince de los impactos mencionados alcanzan más de un 50% de opiniones en que los consideran posibles (1-15), y únicamente en ocho el porcentaje de los entrevistados que los consideran no posibles es mayor que el que los considera posibles (16-23). En todos los casos, excepto en tres, seis, trece y 23 existe consenso en que si llegara a suceder lo que menciona el enunciado el impacto negativo sería serio. Nótese que de los cuatro casos donde no existe dicho consenso, dos de ellos hacen referencia al bienestar animal. Como señala la propia Ángeles Lizón: “Si se hubiese aplicado el cuestionario en el ámbito europeo, como mínimo en enunciados como éstos, se habrían dado curiosas diferencias” (Lizón, 1997: 31)⁸⁷.

87 En catalán en el original.

Tabla 1. Ponderación subjetiva de la posibilidad de ocurrencia, y estimación prospectiva de la significación adversa de algunos impactos asociados a efectos indirectos

% de panelistas que lo consideran	Posible	I, En caso de suceder, serio
1.- Posibilidad de intervención en las elecciones reproductivas	88.8*	78.1
2.- Desigualdades sociales por razones genéticas	88.6*	96.2
3.- Efectos negativos en economías agrícolas tradicionales	86.4*	49.4
4.- Impactor en el “Tercer Mndo” (sustitución de cultivos exóticos)	81.5*	83.9
5.- Discriminación negativa por rasgos genéticos	78.8*	87.1
6.- Aumento del uso instrumental de los animales	76.3*	32.6
7.- Selección social de embriones (rasgos deseados)	73.8	76.3
8.- Peligro de violaciones del derecho a la privacidad	71.3	95.0
9.- Nuevas formas de eugenesia	66.3	96.2
10.- Restricciones sociales por razones genéticas	65.0	80.7
11.- Primacía cuasi exclusiva de criterios económicos y de mercado	64.6	86.6
12.- Discriminación ocupacional debida a predisposiciones genéticas	62.0	80.5

13.- Efectos negativos en el bienestar animal	61.3	53.2
14.- Restricciones a la libre circulación de información científica (patentes)	58.8	84.5
15.- Peligro de pérdida de biodiversidad (bioagricultura industrial)	51.9	78.2
16.- Discriminación étnica o racial (enfermedades típicas de étnias)	49.4	81.8
17.- Problemas de monopolio (cuestión de patentes)	47.5	96.2
18.- “Mejora genética” en lugar de control de defectos genéticos	37.9	91.0
19.- Experimentación in vitro con embriones	36.3	94.9
20.- Nuevas formas de intolerancia	32.9	88.3
21.- Peligro de extrapolación de técnicas de clonación a humanos	31.3	93.8
22.- Abusos de la información	28.8	78.5
23.- Efectos de medicina o mercado con impacto negativo en el consumo	11.3	60.8

FUENTE: Lizón (1997: 31)⁸⁸

A continuación comentaremos someramente algunos resultados interesantes que se obtuvieron gracias al procesamiento métrico de los datos obtenidos, en concreto de los índices, que utilizando descriptores estadísticos globales,⁸⁹

⁸⁸ En catalán en el original.

⁸⁹ En concreto se utilizaron medidas de tendencia central como la media aritmética y la mediana; medidas de posición como los cuartiles, medidas de dispersión como la desviación estándar; considerándose los valores entre uno y tres, y por tanto el “encuestado neutro” presenta una puntuación de 1.5.

se construyeron. El primer índice construido fue el de la evaluación de la seguridad técnica, el resultado obtenido fue que existía una predisposición del entrevistado a considerar los procedimientos técnicos como seguros o muy seguros. El segundo índice se refería a la evaluación sobre la inocuidad de la biotecnología, en este la tendencia mostrada por los entrevistados fue de considerarla prácticamente inocua. El tercer índice versó sobre las posibles consecuencias primarias con posibles impactos adversos, el mismo señaló que los entrevistados creían en una posibilidad muy alta de ocurrencia de estos efectos primarios adversos. El cuarto índice trató de posibles efectos secundarios con impactos adversos; los entrevistados consideraron aquí alta o muy alta la posibilidad de que aparezcan consecuencias indirectas o efectos de composición con impacto de índole diferente. El quinto índice se refirió a la apreciación de los encuestados sobre distintas restricciones éticas que impiden ciertas prácticas biotecnológicas, éstos creyeron que las mismas sí operaban como constricciones efectivas del desarrollo de la biotecnología. El sexto índice, sobre sensibilidad ética, mostró que los entrevistados creían que las consideraciones éticas tienen que estar presentes, inevitablemente, en la evaluación de las distintas prácticas asociadas con la biotecnología. El séptimo índice, referido a la anticipación del impacto económico, dio como resultado que los encuestados evaluaban como alta la posibilidad de que apareciesen consecuencias socioeconómicas indirectas con posibles impactos adversos. El octavo índice, que evaluaba el papel de los intereses concurrentes en las diferentes acciones biotecnológicas, supuso constatar la creencia de los entrevistados en que los intereses económicos prevalecerán en detrimento de las necesidades sociales y el bien público. El noveno índice, sobre optimismo científico, señaló que los entrevistados tienen una gran confianza en la investigación básica y experimental, y en las instituciones que las impulsan o prohíben. El décimo índice, sobre optimismo tecnológico, mostró como la posición de los entrevistados es favorable al desarrollo de la investigación aplicada y a sus derivaciones en medicina e industria. Por último, el undécimo

índice, destinado a la confianza en las instituciones, dio como resultado que los encuestados estaban preocupados por la asunción, delegación o transferencia de responsabilidades en materia de ciencia y tecnología.

En cuanto a los movimientos de opinión, observados en las tres encuestas que formaron el estudio *Delphi* que estamos comentando, decir que en el caso del juicio técnico se consolidó la tendencia a considerar seguros los procedimientos que caracterizan las distintas acciones biotecnológicas; movimiento que vino acompañado por una ligera mayor reserva, menor aceptación en el fondo, de la inocencia de esta tecnología. Esto se debió, más que a un cambio de tendencia, a un endurecimiento del juicio en este tema. Este endurecimiento se observa también en los casos de apreciación sobre efectos primarios o directos, y en el de confianza en las instituciones. En ambos los valores positivos se refuerzan positivamente. En la apreciación de efectos indirectos la opinión se desplazó hacia una evaluación más crítica, sobre todo en la posibilidad de que estos efectos aparecieran. En el caso de las constricciones éticas, que pueden imponerse a la innovación biotecnológica, se produjo un desplazamiento que aumentaba el peso de las consideraciones de éstas; ponderándose de esta forma las mismas como un factor que incide de forma disuasiva con relación a los futuros desarrollos de la biotecnología, ya que el componente ético entra inevitablemente en la aceptabilidad de ésta, y puesto que el mismo supone en sí la realización de evaluaciones de impactos no queridos. Cómo nos lo recuerda Ángeles Lizón:

Las consideraciones éticas han restringido y continúan restringiendo, ciertamente, las posibilidades técnicamente efectivas de algunas líneas de investigación experimental y de determinados usos médicos e industriales. Evidentemente no todo lo que es técnicamente posible es éticamente aceptable” (Lizón, 1997: 35).⁹⁰

90 En catalán en el original.

Esto implica en el fondo que no todo lo técnicamente posible debe realizarse, lo que está en contra del llamado imperativo técnico: “hay que hacer todo lo posible, realizar todas las experiencias (...) poder implica deber.” (Hottois, 1999: 68).⁹¹

Por último, y siguiendo algunas de las propias conclusiones de la directora de este estudio, el perfil medio del experto de la muestra tiene confianza en la seguridad y eficacia en los procedimientos utilizados en la biotecnología, en proyectos incluso; valora la investigación teórica y aplicada, experimental o teórica; se muestra confiado a la hora de valorar las consecuencias negativas directas que se asocian a las actividades de estas tecnologías de la vida; es prudente, y hasta preocupado por las consecuencias indirectas, con posibles impactos negativos procedentes de la biotecnología; evalúa el impacto potencial sobre la base de la posibilidad de su ocurrencia, y es reacio a realizar valoraciones de situaciones inciertas, aunque las anticipa; en conjunto considera la biotecnología como no inocua, por lo cual se muestra prudente respecto a ella; tiene una tendencia moderada en el reconocimiento de cuestiones éticas básicas, cuestiones que inciden como elementos restrictivos del desarrollo de algunas actividades de estas ciencias de la vida; reconoce que los intereses económicos de las empresas orientan en buena parte la investigación y aplicación de la biotecnología, y tiene cierta sensibilidad a la hora de reconocer las formas asimétricas de la distribución de los beneficios actuales o potenciales derivados de ésta; defiende cierto tipo de autonomía en la investigación científica, pero también está de acuerdo con que es urgente el tratamiento legislativo y el control público de las utilidades que se hagan sobre la base de la biotecnología; y se muestra favorable a la transferencia de responsabilidades en el control, monitorización o seguimiento de esta tecnología a iniciativas de instancias públicas nacionales y comunitarias.

91 Recordemos que la primera formulación de este imperativo técnico la realizó Francis Bacon en su libro *La nueva Atlántida*, y que su expresión puede resumirse en la famosa frase de Oppenheimer: “Mi opinión sobre este tema es que, cuando vosotros veáis alguna cosa técnicamente deliciosa (*technically sweet*) la llevéis adelante y la realicéis sin preguntaros nada hasta después de haber obtenido vuestro éxito técnico”. (Citado por Hottois, 1991: 120).

CAPÍTULO 4

Problemas éticos que plantean las nuevas biotecnologías

1. Manipulación genética en el embrión

Desde el punto de vista de la ingeniería genética aplicada a humanos, el diagnóstico y terapia génica aplicada a embriones, constituyen posibilidades muy atractivas. Por un lado, el diagnóstico genético embrionario permitirá detectar anomalías genéticas que conducen a enfermedades de gran sufrimiento y de consecuencias morales, como pueden ser:

La atrofia muscular espinal, dolencia que mata al niño antes de que se cumpla nueve meses; o la enfermedad de Tay Sachs que afecta a individuos procedentes del este de Europa de origen judío, que hace que los niños experimenten un crecimiento vegetativo, se queden ciegos y fallezcan a temprana edad (Shapiro, 1993: 183).

Por otro lado, la terapia génica levanta asombrosas expectativas de erradicar de una vez por todas las terribles enfermedades hereditarias. Estos aspectos semiidílicos de la ingeniería genética no parecen plantear, a primera vista, serios problemas éticos o sociales. La mayor parte de mujeres y hombres estarían de acuerdo, al menos en principio, en que es bueno (entendemos aquí bueno como “bueno moral”; al considerar que tanto el diagnóstico genético como la terapia génica pueden ajustarse en lo planteado, para una gran mayoría, a lo “deseable” o “debido” desde un punto de vista moral)⁹² conocer la “normalidad” del embrión

92 Para una mejor definición de lo “bueno moral” en el sentido en que aquí lo utilizamos véase

antes de que este se desarrolle y nazca; ya que una mayor información sobre la probabilidad de que el embrión esté afectado por una enfermedad hereditaria, que en caso de nacer le hará sufrir y le llevará a la muerte en más o menos tiempo, puede ayudar en la toma de decisión sobre un aborto, y también se abre la posibilidad de fecundar otro embrión “sano”. También estaría todo el mundo de acuerdo en que una terapia curativa embrionaria que permitiera erradicar estas enfermedades sería muy buena. ¿Dónde radica, pues, el desacuerdo?

En primer lugar, el diagnóstico genético conlleva, de ser positivo y detectarse una enfermedad genética en el embrión, la posibilidad de que este sea abortado, y por tanto no llegue a nacer. Esto supone, según algunos detractores del diagnóstico genético por sus consecuencias éticas y sociales, una especie de aborto selectivo basado en la probabilidad de que en un futuro más o menos lejano el embrión hecho persona contraiga la enfermedad hereditaria. Casos como la atrofia muscular espinal y la enfermedad de Tay Sachs, que se presentan en las primeras etapas de la vida, se justifican mejor desde un punto de vista ético con relación al posible aborto, que enfermedades como el Huntington o el Alzheimer que se presentan en la edad adulta. Éstas plantean serios problemas éticos basados en ver: hasta qué punto es lícito no dejar vivir a alguien que llegará a ser adulto con una vida plenamente saludable. En una palabra, ¿debemos privar de la vida y de sus experiencias gozosas a alguien que en su estado embrionario presenta una enfermedad hereditaria que con bastante probabilidad lo llevará a la muerte, de no descubrirse un tratamiento en el ínterin, cuando hay superado en mucho casos los treinta años? Este embrión bien podría decidir cuando fuera persona capaz como debería tratársela en caso de que llegara a desarrollar la enfermedad.

La terapia genética ya sea en las células somáticas, o la más controvertida en células germinales, presenta la posibilidad de que el conocimiento genético adquirido con fines terapéuticos pueda servir también a fines eugenésicos. No se está en contra de la terapia genética, pero se teme que el hombre posea técnicas

Bilbeny (1992: 256-259).

tan poderosas que le permitan diseñar a otros hombres. Por otro lado, no se confía en que los mecanismos de control que se establezcan sean suficientemente eficaces para controlar el mal uso de estas técnicas.

La clonación y el cultivo de células humanas empieza a ser técnicamente posible, y solo las restricciones legales y económicas impuestas las obstaculizan; aunque no impidieron que antes de 1999 al menos tres equipos científicos estadounidenses las llevaran a cabo con dinero privado. Por otro lado, el 27 de enero de 2001, el científico estadounidense Panayiotis Zavos, profesor de fisiología reproductiva de la Universidad de Kentucky y Severino Antoni, conocido especialista italiano en fertilidad humana, aseguraron que tendrían el primer embrión listo para implantar en un útero en junio de 2002, y que ya tenían diez parejas voluntarias para la clonación de uno de sus miembros, y que los experimentos se llevarían a cabo en un país mediterráneo sin especificar. Al respecto, los expertos temen que el plan para clonar niños obstruya las investigaciones sobre cultivos celulares para trasplantes.⁹³

También existe un gran temor frente a las consecuencias desconocidas y no queridas de la aplicación de la terapia genética en embriones. Por último, existe en algunos sectores repulsión moral a que el embrión, que se entiende como vida humana, pueda ser utilizado con otros fines a los de su propio tratamiento; y ello incluso para investigaciones tan prometedoras como las realizadas en células madre abrirán, a medio o largo plazo, la puerta a la creación de tejidos y órganos humanos para trasplantes.

En realidad, las discrepancias remiten, en último término, a los límites de la manipulación genética y los controles que se deben establecer para no sobrepasarlos, ya que hacerlo traería consigo consecuencias no queridas e impredecibles. En este sentido: “en mayor o menor medida, los ciudadanos expresan su recelo ante las consecuencias de las aplicaciones y del control y regulación administrativos de la ingeniería genética.” (Moreno, Lemkow y Lizón, 1992: 28). Deberíamos ser

93 Véase al respecto El País (29 de enero de 2001).

capaces de controlar los aspectos negativos del diagnóstico genético y la terapia génica si queremos que estas desarrollen correctamente sus indudables ventajas. También deberíamos ser capaces de establecer los criterios éticos normativos que nos permitan acercarnos a un estatus del embrión compatible con su dignidad, con la libertad de investigación, y con los intereses sociales por desarrollar técnicas capaces de diagnosticar y erradicar para siempre de la faz de la tierra las enfermedades hereditarias.

Respecto al estatus del embrión, existen serias discrepancias teórico-éticas que han imposibilitado hasta el momento un marco normativo orientador de las conductas individuales que se ajuste a criterios que puedan ser admitidos ampliamente. Estas discrepancias han trascendido el mero ámbito teórico-ético, y se han instalado en el ámbito de la opinión pública y en las agendas políticas. En estas últimas parece ganar partidarios la idea de condicionar la manipulación embrionaria al estado de gestación. En este sentido, como comenta Wibren Van den Burg:

It is, therefore, not surprising that some variety of the position may be found in many committee reports, like those of the Gezondheidsraad in the Netherlands or the Warnock Committee in the UK (...) It may be found in the platforms of political parties as well. As political doctrine, it has been accepted by the four major non-Christian parties in the Dutch parliament. Only smaller protestant parties take the position that there should be absolute protection embryo (Van der Burg, 1996: 79).

1.1 Debate ético sobre el diagnóstico genético en el embrión

En principio, la cuestión del diagnóstico embrionario plantea diversas situaciones que deben tenerse en cuenta. El diagnóstico puede ser negativo: el embrión no está aquejado de ninguna de las enfermedades genéticas que en el estado actual de la técnica (cuando se le efectúa la prueba) son posibles de detectar. El diagnóstico puede ser también positivo: el embrión está aquejado de una enfermedad

genética. En este último caso, los progenitores deben tomar una decisión entre abortar o no abortar, ya que suponemos que no existe una terapia genética que elimine el defecto genético detectado. Esta decisión plantea un problema ajeno al diagnóstico que depende de múltiples factores, que aquí no vamos a analizar; Sin embargo, nos interesa añadir que si bien es cierto que el diagnóstico genético permitirá decisiones más informadas sobre razones concretas de aborto (evitar el sufrimiento tanto del futuro enfermo genético como el de los que de él tienen que hacerse cargo, ahorros en las cargas económicas que conlleva la enfermedad tanto de los familiares como de la sociedad), también lo es que presenta nuevos dilemas en la decisión a tomar. En primer lugar, el diagnóstico se establece como probabilidad (eso sí, bastante alta en algunos casos, aunque en todo caso ello dependerá de la perfección a la que haya llegado la técnica) lo que supone decidir con riesgo sobre un embrión que se entiende como vida humana. En este sentido, desde un punto de vista legalista, por ejemplo, Wibren van den Burg, dentro de las consideraciones fundamentales a tener en cuenta para una futura legislación del estatus embrionario, dice: “*The value of respect of human life, not only in its fully developed stated, but also in its weaker form (children, people with several handicaps) and even in its embryonic State.*” (Van der Burg, 1996: 84).

Otro ejemplo, desde un punto de vista filosófico-ético, lo encontramos en Ronald M. Dworkin cuando dice: “pensamos que el aborto frívolo o no justificado muestra un desprecio por toda la vida humana, una reducción por el respeto por cualquier vida.” (Dworkin, 1994: 312).

Por último, desde el punto de vista de la religión católica resulta representativo el siguiente párrafo de Angelo Serra:

La iglesia católica reconoce el valor de la investigación científica básica y concede gran importancia al proyecto derivado de la investigación aplicada en general y del Proyecto Genoma Humano en particular. No obstante la iglesia se manifiesta contraria al aborto selectivo, que teme aumentará

cuando el diagnóstico prenatal facilite la detección de un número mayor de enfermedades genéticas (Serra, 1993: 131).

Lo dicho en los párrafos anteriores nos lleva a plantear en qué medida se debe justificar un aborto por deficiencia genética, o sobre la base de qué probabilidad se establece una decisión razonable respecto a esa acción, o de sí una enfermedad genética como la de Huntington, cuyo inicio ya es en la edad adulta,⁹⁴ debe condicionar un aborto por sus consecuencias finales, o debemos considerar el buen vivir antes de la aparición de la enfermedad. Todos éstos son interrogantes que cuestionan la bondad del diagnóstico genético para algunos grupos sociales, y especialmente para aquéllos que por razones morales ya están en contra del aborto. Sin embargo, creemos que en última instancia éstos cometen el error de poner en duda el método empleado por los resultados esperados. Es cierto que el diagnóstico genético puede conllevar “abortos selectivos”, pero también lo es que todos los abortos son selectivos, ya que los mismos dependen de “decisiones razonadas condicionadas”, que son las que se producen tras una evaluación individual de las condiciones de situación individuales y colectivas. Es por ello que el término “aborto selectivo” nos parece poco adecuado para la crítica. En último término, centrar en este punto el debate nos conduce a discutir sobre la legitimidad del aborto, y no a reflexionar sobre las verdaderas consecuencias éticas y sociales del diagnóstico genético del embrión.

En este mismo sentido nos parecen más refinadas algunas de las críticas realizadas por los que abogan por los derechos de los “discapacitados genéticos”. En éstas se pone de manifiesto la posible estigmatización y discriminación social de ciertos grupos, en concreto de los “discapacitados genéticos”, como consecuencia del diagnóstico genético embrionario.

94 Como nos comenta Robert Shapiro citando al propio Huntington: “Los síntomas de la corea hereditaria (otro de los nombres por los que se conoce a esta enfermedad) aparecían primero en la vida adulta. Luego la enfermedad se iba afianzando y, según Huntington <<avanzando poco a poco pero con firmeza, incrementándose gradualmente, y tardando con frecuencia años en desarrollarse hasta que el desdichado que la padece se ve reducido a una caricatura trémula de su ser anterior>>“(Shapiro, 1993: 25).

Pero veamos cuáles son estos argumentos. En primer lugar, la disminución de las enfermedades genéticas⁹⁵ haría que la vida de los afectados por estas enfermedades no fuera valorada. Es decir, si a alguien que va a padecer cierta enfermedad genética no se le permite nacer por ella, entonces estamos admitiendo, de alguna forma, que su vida carece de valor. Si esto es así, también estaríamos negando el valor de la vida de alguien ya nacido que tenga esa misma enfermedad. En este sentido, la enfermedad genética que le quita el valor a la vida del embrión afectado por ella, también se lo quita al individuo que la padece. El resultado de esta forma de argumentar es que un individuo con una enfermedad genética se convierte en un individuo cuya vida no tiene valor. Argumento este que fue utilizado por los partidarios de la eugenesia en su expresión más terrible: la de la Alemania Nacional Socialista.⁹⁶ La implicación de lo anterior es la pérdida de los derechos de los “discapacitados genéticos”, los “imperfectos”; y una gradación social final de los “capacitados genéticos”, los “perfectos”. Pero con esto se utilizan de nuevo las consecuencias para criticar al medio, y en este caso las mismas nos llevan al siguiente dilema moral: ¿debemos dejar que nazcan aquellos que padecerán enfermedades genéticas dolorosas e incurables para que no disminuya el valor de la vida de aquellos que ya las tienen, o debemos ir tendiendo a eliminar estas enfermedades genéticas no dejando nacer a los embriones en que se detectan?

Llegará el momento en que deberemos decidir quién puede padecer “discapacidad genética” y quién no. En ese momento tanto el individuo como la sociedad se van a enfrentar a difíciles problemas de decisión. Estas decisiones se tomarán sobre la base de las informaciones objetivas que la ciencia médica proporcione, y también en buena medida sobre la base de preferencias subjetivas y éticas individuales. Aquí puede ayudarnos la distinción entre las preferencias subjetivas, que reflejan al interés privado, egoísta, y las preferencias éticas, que

95 Para el caso que estamos aquí comentando la disminución se produce a través del aborto de los “discapacitados genéticos”.

96 Una breve, pero interesante reflexión sobre la eugenesia en la Alemania Nazi la realiza Benno Müller-Hill (1993: 381-389).

balancean nuestro interés y el del “otro”.⁹⁷

Por otro lado, creemos adecuada la crítica que Allen Buchanan hace a los que abogan por los derechos de los “discapacitados genéticos”; y que consiste en constatar que éstos no tienen en consideración la “igualdad de oportunidades”, como principio de justicia que debe tenerse en cuenta, tanto para los que deberán soportar la carga de un “discapacitado genético” que nazca como las del propio “discapacitado genético” ya nacido. Para Allen Buchanan: “*That an adequate account of justice will include a place for a commitment to equal opportunity.*” (Buchanan, 1996: 24). Recordemos que también el criterio de igualdad de oportunidades como principio de la justicia lo plantea John Rawls en su conocido libro sobre *la teoría de la justicia*.⁹⁸

En último extremo, creemos que la cuestión se reduce a no desvalorizar a los “discapacitados genéticos” ya nacidos, y en intentar aprovechar al máximo las posibilidades que para una toma de decisiones más informada ofrece el diagnóstico genético.

1.2 Debate ético sobre la terapia génica en el embrión

Existen dos tipos principales de células, y, por tanto, existen dos formas diferentes de plantear la terapia génica. En primer lugar, está la llamada terapia genética de las células somáticas que efectúa correcciones en las células de este tipo en un individuo, y las que sus posibles consecuencias quedan limitadas a él. Por otro lado, está la denominada terapia genética de las células germinales que efectúa correcciones en las células reproductoras, y la que las posibles consecuencias de la intervención se transmiten a la descendencia del individuo intervenido. En último extremo la terapia en células germinales puede afectar a la especie humana.

La terapia genética del embrión plantea problemas éticos y sociales de indudable trascendencia, al tiempo que levanta pasiones encontradas. Problemas como

97 Véase al respecto Aguilar (1990: 7-41).

98 Véase sobre todo, Rawls (1995: 75-141).

los de que la terapia génica sirva a intereses eugenésicos de mejora de individuos, colectivos o incluso a la propia especie humana son vistos negativamente desde un punto de vista moral, y tienen repercusiones sociales de gran trascendencia. Por otro lado, la posibilidad que se abre de curar, por primera vez, enfermedades genéticas que causan gran sufrimiento tanto a quien la padece como a quien a él está vinculado afectivamente, además de reducir el coste elevadísimo individual y colectivo que suponen, hace de la terapia genética una herramienta de indudable utilidad para la humanidad.

La pregunta está en cómo aprovechar los aspectos positivos de ésta sin caer en las trampas que desde el punto de vista ético tiene, así como en evitar sus repercusiones sociales negativas. La respuesta a esta pregunta no es nada fácil, y ha llevado por primera vez en la historia de la política científica a tener en cuenta de forma específica y prioritaria a los aspectos éticos, sociales y normativos en los Programas Públicos de Investigación y Desarrollo. Ejemplo de ello lo constituyen el proyecto de la NIH-DOE: *Working Group on Ethical, Legal and Social Implications* (ELSI), sobre las investigaciones que se realizan sobre el genoma humano en Estados Unidos, y su correlato el programa *Ethical, Social and Legal Aspects of Human Genome Analysis* (ESLA), en los Programas de Investigación de la Unión Europea sobre el genoma humano.

La aceptación de los aspectos curativos de la terapia genética es indudable, pero la espada de Damocles que se alza sobre su cabeza es demasiado pesada como para obviarla: el conocimiento que puede servir para curar mediante ingeniería genética puede ser utilizado también con fines eugenésicos ni previstos ni aceptados desde un punto de vista ético, y de desconocidas repercusiones sociales. En definitiva, lo que se rechaza es una mejora genética del individuo (que no es lo mismo que la curación de una enfermedad hereditaria), y la posibilidad de que el hombre cree hombres con características diseñadas en laboratorio.

2. El estatus de los no autónomos con relación a la manipulación genética

En este apartado nos centraremos en un caso especial que por su interés bien merece ser considerado. Nos referimos al caso en que el individuo no posee o ha perdido su derecho de autonomía. Entendemos por derecho de autonomía, el que hace referencia a la libertad de las personas de tomar decisiones por sí mismas. Dentro de este caso nos encontramos dos características que lo hace peculiarmente interesantes para el tema del diagnóstico y de la terapia genética, y más concretamente para la investigación que posibilita el desarrollo de la ingeniería genética. La primera es que existen enfermedades genéticas que suponen la pérdida de autonomía del individuo, y que incapacitan a este para tomar decisiones sobre su propia vida. Un ejemplo de ello lo constituye la enfermedad de Alzheimer:

La enfermedad de Alzheimer consiste en un deterioro fisiológico: las terminales nerviosas del cerebro degeneran en una placa entretrejida de materiales fibrosos. Los pacientes que se encuentran en las últimas etapas de esta enfermedad pierden casi toda la memoria de su vida anterior y no pueden, salvo periódica y fragmentariamente, reconocer o responder a otras personas, incluso a aquellas que constituían su círculo próximo. Pueden perder la capacidad de hablar más allá de una palabra o dos. Frecuentemente sufren incontinencia, se caen permanentemente o pierden la capacidad de andar. Son incapaces de llevar a cabo planes, proyectos o deseos, aunque sean de estructura muy simple. Expresan deseos y aspiraciones pero éstos cambian rápidamente y con frecuencia muestran muy poca continuidad en su conducta, incluso en períodos de días u horas (Dworkin, 1994: 285-286).

La segunda es que el material genético de estos incapacitados tiene un gran interés para la investigación tanto en diagnóstico como, posteriormente, en terapia génica. El problema surge a la hora de decidir de sí es legítimo o no investigar sobre los genomas de los no autónomos; y en último término, si se está, y quién

está, legitimado para tomar decisiones sobre ellos.

Parece clara la existencia de un interés social para que estos casos puedan ser investigados y tratados con el fin de eliminar estas enfermedades genéticas tan dolorosas, tanto para los que las tienen como para quienes están vinculados con ellos afectivamente; y eso sin contar lo extendidas que puedan estar, o el gran coste económico que puedan suponer. Al respecto de la enfermedad de Alzheimer Ronald Dworkin hace algunas citas interesantes:

1. Un estudio de la facultad de Harvard estimó en 1989 que en Estados Unidos el 11.3% de la población norteamericana de 65 años o mayor probablemente tenía Alzheimer. La frecuencia estimada se incrementaba fuertemente con la edad (Evans, *et al.*, 1990: 267, citado por Dworkin, 1994: 287).
2. Un estudio efectuado en el Reino Unido estimó que el número de afectados entre las personas de más de 80 años en este país estaba en torno al 20% lo que implicaba aproximadamente 200.000 personas. Pero lo más preocupante es que el incremento espectacular que se prevé y que en 30 años podría afectar a 750.000 personas (The Guardian, 6 de julio de 1992, citado por Dworkin, 1994: 287).
3. Respecto al coste económico que supone para un afectado la enfermedad de Alzheimer. Un buen ejemplo lo constituye, sin duda, que en Estados Unidos (por ejemplo) el coste de una enfermera a domicilio para un afectado de Alzheimer, en 1990, oscilaba entre 35000 y 52000 dólares por año (Sekoe, 1991: 68: citado por Dworkin, 1994: 287).

También parece relativamente claro que los tutores de las personas que no tienen o han perdido su autonomía; deberían ser los más legitimados para decidir sobre la posibilidad de investigación o manipulación del genoma de estos. Si se llegara a admitir que en último término fuera el tutor quien decidiera sobre el genoma del tutelado resolveríamos de forma práctica como enfrentarnos al problema, pero no solucionaríamos satisfactoriamente los serios dilemas éticos que se plantean en este caso.

En primer lugar, el genoma es una parte constituyente del individuo, sin duda la más importante, y no algo material que se pueda gestionar sin que le afecte internamente. En segundo lugar, una manipulación con fines de investigación, terapia u otros usos puede modificar, en este caso, el genoma de un individuo que no ha aceptado expresamente dicha modificación. Por otro lado, ¿un tutor que ejerce el derecho de beneficencia de alguien que no tiene o ha perdido su autonomía, y que debe actuar sobre la base de los mejores intereses de éste, satisface realmente los mejores intereses de su tutelado permitiendo la manipulación de su genoma con vistas a la posibilidad de un mejor diagnóstico o terapia que lo más probable es que beneficie a posteriores generaciones, pero no a él? Recordemos que el derecho de beneficencia: “consiste en que cuando se confía una persona a otra o a una Institución la primera tiene el derecho que la segunda adopte decisiones en favor de sus mejores intereses.” (Dworkin, 1994: 299). Es imprescindible señalar aquí que este derecho de beneficencia solamente se ejerce cuando alguien se responsabiliza como tutor del que no tiene, o ha perdido su derecho de autonomía.

No resulta extraño que el derecho de beneficencia colisione en algunas ocasiones con el derecho de autonomía, y ello porque aunque un “incapacitado mental” (incapacitado mental en el sentido de no poder tomar las decisiones más elementales sobre su propia vida, y por tanto no tiene, ha perdido su autonomía) sea incapaz de tener proyectos o planes del tipo que requiere una vida en sentido crítico, sí que lo es tener la capacidad de sentir experiencias gozosas, por primarias que éstas sean.

Existe, por tanto, la posibilidad de un conflicto, entre tutores y tutelados, sobre cuáles deben ser los mejores intereses de estos últimos. La cuestión remite a que cuando se entiende la vida como un todo es imprescindible fijar si el criterio debe ser la capacidad crítica, o la posibilidad de ser capaz de experimentar como incapacitado experiencias gozosas primarias. El problema afecta en el caso que se está examinando a aquellos que tomaron decisiones cuando eran capaces sobre como deberían ser tratados en caso de incapacidad mental con

pérdida de autonomía. Ejemplo de ello lo constituirían aquellas personas que decidieran someterse a experimentación genética en caso de incapacidad mental, y cuyos tutores por motivos morales estuvieran en contra de la experimentación genética en humanos. También podría suceder que un tutor descendiente de un tutelado, que tuviera posibilidades de contraer la enfermedad genética de ste, tuviera interés en que se produjeran manipulaciones genéticas del genoma del enfermo. En este caso, que puede ser bastante general, no podríamos distinguir si los mejores intereses que defiende el tutor son los del tutelado o los suyos propios. El problema se complica, puesto que el incapacitado mental en su estado actual puede haber cambiado de opinión. Pero eso no lo podemos saber, puesto que es incapaz de explicar con coherencia y consistencia cuáles son sus decisiones actuales al respecto.

Enfermedades de origen genético como el Huntington o la variante hereditaria del Alzheimer, aunque en este caso también sus variantes no hereditarias, conllevan en sus últimas etapas la pérdida de autonomía. Así pues, un diagnóstico genético previo que indique a una persona que con una elevada probabilidad va a contraer esa enfermedad posibilita que ésta, antes de perder su perspectiva crítica, tome decisiones sobre cómo debe tratarse su genoma en caso de que finalmente la enfermedad le incapacite mentalmente. En este caso nos podemos encontrar ante un conflicto de intereses entre tutores y tutelados.

Por otro lado, si la tutela fuera institucional; la institución podría interpretar que los intereses de su tutelado se defienden mejor al no permitir que se manipule su genoma. Esto podría afectar a familiares cercanos al enfermo, interesados en el desarrollo de la investigación en esta área, o a investigadores interesados en el conocimiento del desarrollo de las enfermedades genéticas.

Podríamos establecer para este caso una regla general que dijera que lo que es admitido por una persona autónoma, debe serlo para una persona no autónoma; puesto que de serlo lo admitiría. Esta regla general legitimaría al tutor a tomar decisiones sobre el genoma de su tutelado sobre la base de lo que él mismo

aceptaría para su genoma. Parece claro que la regla puede resultar satisfactoria si va acompañada de garantías legales que controlen un mal uso (por parte de los tutores) de los genomas de aquellos que no tienen, o han perdido su derecho de autonomía.

Con todo, la regla presenta el grave inconveniente de donar, en última instancia, el genoma del incapacitado mental al tutor; puesto que este puede decidir sobre él. Esto supone, en un caso extremo, donde no se dispongan de instituciones y mecanismos que eviten, que no tener o perder el derecho de autonomía puede traer consigo la pérdida de disponer incluso del propio genoma. En este sentido, el genoma del no autónomo se convierte en propiedad del autónomo tutor que dispone de él. Es por eso que en estos casos las reglamentaciones y controles deben ser estrictos y eficaces, y ello si se quiere evitar abusos de imprevisibles consecuencias éticas y sociales.

Además, y siguiendo el criterio de evidencia (el criterio de evidencia nos remite a la experiencia vivida) como concepción de la autonomía, nos encontramos que las personas no son los mejores jueces para evaluar circunstancias en las que nunca se han encontrado. Por otro lado, tampoco tenemos la certeza absoluta de que si éstas se encontraran en dichas circunstancias, las evaluarían de forma distinta a como lo hicieron antes de pasar por ellas.

Otro criterio de autonomía, el que la considera desde el punto de vista de la integridad, nos lleva a interrogarnos sobre la voluntad y los intereses del no autónomo que un tutor debe tener en cuenta. El criterio de integridad remite a la vida considerada como un todo en donde decisiones precedentes sobre estados futuros deben ser consideradas y respetadas; y ello aún a costa de que en casos como el de pérdida de autonomía se pueda considerar que esa persona ha cambiado de opinión respecto a lo que decidió para ella misma en caso de perder su derecho a decidir.

Es posible que algunas personas tomen predisposiciones cuando son autónomas sobre si dejan que su genoma sea investigado y manipulado, o si conceden a otra

persona o institución que tome decisiones sobre el mismo en caso de que una enfermedad los incapacite mentalmente. Todavía en las sociedades occidentales actuales existe poca predisposición a tomar decisiones sobre enfermedades mentales incapacitantes sobrevenidas por enfermedad genética, pero creemos que el desarrollo del diagnóstico genético puede incrementar de forma notable la predisposición a tomar decisiones sobre el propio genoma antes de que una enfermedad genética incapacite mentalmente a un individuo. A este respecto, no sería extraño que se establecieran testamentos sobre el propio genoma al modo de los llamados: “testamentos de vida”; y que éstos se generalizaran como forma previsoras del individuo ante la probabilidad establecida para él de contraer una enfermedad genética que lo llevaría a ser un incapacitado mental. Los “testamentos de vida” son disposiciones de carácter voluntario que una persona capacitada puede dictar para los casos en que sufra un accidente que la deje en estado de coma.⁹⁹

Existe una diferencia fundamental, a nuestro entender, que hará que los testamentos sobre el propio genoma tengan más éxito que los testamentos de vida; y es que mientras para estos últimos el cálculo individual se realiza en forma de probabilidad de un accidente medida a través de estadísticas estratificadas por grupos de riesgo, lo que hace percibir al individuo que su riesgo es improbable y pequeño (la frase: “no voy a tener tan mala suerte que me toque a mí” es significativa de esta percepción), las probabilidades de enfermedad genética se establecen de forma individual y con un grado de aproximación a la certeza casi absoluto.

Otro aspecto que complica el tema es cómo debemos considerar el derecho a la dignidad de los “discapacitados genéticos” que no tienen o han perdido su autonomía, y si de alguna forma la manipulación de su genoma afecta a aquélla. Ya Kant dijo en alguna ocasión: “actúa de tal manera que trates a la humanidad, tanto en tu persona como en la persona de cualquier otro, siempre como un fin al

⁹⁹ Sobre estos “testamentos de vida” y su utilización se puede ver, y ésta es la fuente que hemos utilizado para hablar de ellos, a Dwordin (1994: 298 y ss).

mismo tiempo y nunca como un medio.” (Citado por Bilbeny, 1992: 72). Esto nos remite a la controversia de sí el incapacitado mental al que se manipula el genoma, aunque no sea capaz de expresar su consentimiento o rechazo, está siendo tratado como medio y no como fin. En una palabra si está siendo utilizado para que otros consigan lo que desean, y no tratado para aumentar su propio bienestar. En este sentido, los detractores de la manipulación genética podrían acusar a los investigadores y a los tutores que permitieran la manipulación del genoma de “discapacitados genéticos”, de usar a estas personas sobre la base de sus propios intereses (de dinero, prestigio, desarrollos terapéuticos no para el individuo del que se investiga el genoma, sino para generaciones futuras), y no atendiendo a los intereses de los tutelados, que son los que deben proteger. Por su parte, los partidarios de la investigación y manipulación genética ya argumentan que la ingeniería genética aplicada a humanos llevará, a través de la investigación, al diagnóstico y posterior terapia que permitirán la eliminación de enfermedades hereditarias extremadamente dolorosas, y por ello no es lícito limitarla.

En este panorama de claro conflicto de intereses, en donde tan importantes son unos como otros, y en donde tan importante es el que recibe dignidad como el que la otorga, es necesario llegar a acuerdos que permitan iluminarnos acerca de en qué casos podemos aceptar experimentar con el genoma de los incapacitados mentales, y bajo qué condiciones deben realizarse esos experimentos. Es necesaria también la producción de teorías más refinadas dentro de la bioética, teorías que nos permitan captar mejor las extremas complejidades que dentro de ésta, presenta la ingeniería genética.

Uno de estos refinamientos lo encontramos en una distinción que realiza Ronald Dworkin respecto a la actuación de un médico sobre un paciente.¹⁰⁰ Dworkin nos dice que un doctor actúa en favor de los intereses subjetivos *ex ante* cuando mejora la vida del paciente de acuerdo a los criterios de este, en el momento que se toma esa decisión; cuando actúa en favor de los intereses subjetivos de su paciente

100 Ver al respecto, Dworkin (1994: 344).

evaluados *expost* mejora la vida de éste juzgada por los criterios que el mismo acepta una vez la decisión ha tenido efecto, y por último un médico actúa en favor de lo que él considera que son los *intereses críticos genuinos del paciente* cuando le cambia su vida de una manera que el médico cree que la mejora.

El siguiente ejemplo nos señala en qué medida esta distinción puede sernos útil. Pongámonos en la situación de una persona que acaba de recibir la noticia por parte de su médico de que tiene la enfermedad de Huntington, y que en unos meses ya no será capaz de decidir por sí misma. El médico propone a su paciente una terapia que puede mejorar su calidad de vida (esto sería actuar en favor de los intereses subjetivos del paciente *exante*), el paciente acepta esa terapia y se somete a ella. Después de varias sesiones terapéuticas el paciente considera que la terapia no mejora su calidad de vida, sino que la empeora. Expresadas sus razones al médico, este cancela la terapia o le propone otra (esto sería actuar en favor de los intereses del paciente *expost*). Si el médico en vez de considerar el rechazo de la terapia por el paciente hubiese mantenido la terapia, creyendo que ello mejoraba la calidad de vida del mismo, hubiese actuado sobre la base de los *intereses críticos genuinos de su paciente*.

Tanto una actuación *exante* como una actuación *expost* nos parecen plenamente aceptables, puesto que derivan de un acuerdo. La actuación sobre la base de los *intereses genuinos críticos del paciente* creemos que no debe establecerse como *modus operandi* general, y que se debería evaluar caso por caso.

No en pocas ocasiones el conocimiento especializado representa los mejores intereses de un paciente. Es el caso, por ejemplo, en que por creencias el enfermo rechaza que se le aplique una terapia que le salvaría la vida. El caso típico que se menciona al respecto es el de las transfusiones de sangre para los testigos de Jehová. En este caso se plantea de forma dramática si el derecho a la vida debe prevalecer sobre el derecho a la propia creencia. Nosotros nos manifestamos abiertamente por el primero de los derechos, puesto que sin él el segundo no tiene ni siquiera existencia. Se necesita vivir para creer, pero no lo contrario:

creer para vivir. La creencia no debe prevalecer a la existencia, y es por ello que nos manifestamos en contra del creer para no vivir. Otra cosa es que no existan medios para evitar la muerte segura y en poco tiempo de un enfermo. En estos casos, para nosotros, el que va a morir tiene el derecho a decidir que su muerte sea digna y evitar un dolor que sólo le conduce a un final anunciado en breve plazo. Es el caso por ejemplo de los enfermos de cáncer terminal. También es el caso de los que no pudiéndose valer por sí mismos, ni teniendo esperanza de poder hacerlo, sufren su situación con desesperación y angustia; por ejemplo en las enfermedades degenerativas, o en los accidentes con consecuencias traumáticas graves, como puede ser una tetraplejía.

Muchas veces no son posibles los acuerdos *ex ante* y *ex post* entre médico y paciente. Es el caso por ejemplo en que un paciente ha perdido su capacidad de decidir sobre su propia vida. Ello afecta, como hemos dicho, a enfermos genéticos cuya enfermedad los lleva a un estado de discapacidad mental. En estos casos el desarrollo del diagnóstico genético precoz y eficaz permitirá acuerdos entre médico y paciente antes de que la enfermedad incapacite mentalmente al individuo, acuerdos sobre cómo este debe ser tratado cuando ya no pueda decidir por sí mismo. En este sentido, no debemos olvidar como nos señala John Rawls que: “los principios paternalistas son una protección contra nuestra propia irracionalidad y no deben interpretarse de modo que permitan ataques a las propias convicciones, en tanto que ofrecen la posibilidad de proteger el consentimiento.” (Rawls, 1995: 286).

Esto nos lleva a señalar, junto con Ronald Dworkin, que el derecho a la dignidad de la persona debe basarse en una versión evaluativa y no en la idea de experiencia. Este autor señala que la idea de experiencia percibe el vicio de la indignidad solo en las consecuencias sentidas por su víctima; y por eso niega que pueda ser inmoral tratar a alguno de la manera que podría preferir, aunque esta preferencia pudiera ser rechazada desde el punto de vista de su dignidad moral. Es el caso, por ejemplo, del prisionero que decide para que le bajen la condena

servir de conejo de indias en experimentos de dudosos resultados y consecuencias para su salud. La versión evaluativa contiene dos aspectos: el primero señala que el vicio de la indignidad es una relación tanto de aquellos que la muestran como de aquellos que la reciben, y que por tanto tenemos el derecho de no realizar acciones que creemos que niegan nuestra percepción de la importancia moral de la persona, y ello aunque ésta desee ser tratada de forma indigna para obtener otro tipo de beneficios; la segunda versión evaluativa supone que el daño infligido a la víctima de la indignidad es evaluativo independientemente de que pueda ser también un daño de experiencia, y en consecuencia el daño puede ser genuino, y ello aunque no se reconozca peor que cualquier otra alternativa. Es el caso, también, de un preso que sale libre antes de tiempo por someterse a experimentos, pero al que se le ha acortado el tiempo de vida, o su calidad de vida con esos experimentos.

Para el caso que nos ocupa, el de los discapacitados mentales que sufren una enfermedad genética, basar el derecho a la dignidad de la persona en la versión evaluativa supone el respeto por las decisiones que sobre su genoma haya establecido una persona capacitada antes de que la enfermedad lo incapacitara. En este sentido, un tutor sobre la base del derecho de beneficencia no puede contrariar las disposiciones previas que sobre su genoma establezca una persona capacitada mentalmente antes de perder dicha capacidad. Por último, el hecho de que los diagnósticos genéticos sean fiables puede posibilitar la realización, como ya dijimos más arriba, de testamentos sobre el propio genoma en donde se recoja lo que el individuo permite respecto a la investigación y manipulación de este. Ello supondrá un avance significativo en la solución del difícil problema de cómo debemos tratar el genoma de personas que han perdido su autonomía. Sin embargo, no resuelve el problema de cómo debemos tratar el genoma de los que nunca tuvieron autonomía, es decir de los incapacitados mentales de nacimiento.

3. El caso de los “niños de diseño”

Uno de los aspectos más controvertidos del debate bioético sobre la biotecnología aplicada a seres humanos es, sin duda, el de la ingeniería genética aplicada al cambio de cualidades tanto físicas como de aptitudes potenciales en embriones. Lo que se ha dado en llamar “niños de diseño”.

La siguiente figura nos muestra algunas de las partes del ser humano que se cree podrán ser modificadas, cuando las técnicas lo permitan, a través de la genética.

La selección artificial

Las posibilidades de selección abiertas por la genómica son múltiples. La ilustración muestra aquellas partes del ser humano que podrán ser alteradas.

Cerebro

- Potencialidad intelectual
- Tendencia a padecer enfermedades neurodegenerativas
- Tendencia para desarrollar adicciones

Vello

Tendencia a la calvicie

Cara

Proporción de los rasgos

Cáncer

Propensión al cáncer de pulmón y muchos otros tumores

Corazón

Tendencia a contraer dolencias cardiovasculares

Altura

Incrementa o disminuye la estatura

Grasa

Facilidad para engordar

Huesos

Velocidad del envejecimiento

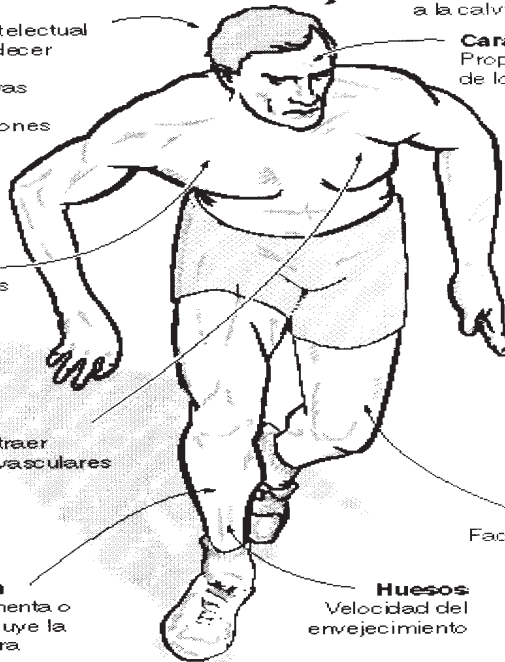


Figura 1. Posibilidades de selección abiertas a la genómica en la alteración de partes del Ser Humano
FUENTE: Javier Sanpedro: “El genoma de un hombre perfecto”, <http://www.elpais.es>, 18 de febrero de 2001

Esta nueva forma eugenésica, que en un futuro tal vez no muy lejano será posible, gracias a los avances científico-tecnológicos de la ingeniería genética, provoca cuestiones éticas de indudable trascendencia. En primer lugar, existe un temor profundo a que el hombre pueda diseñar a otros hombres, lo que implicaría según algunos autores la pérdida de libertad del sujeto histórico fundamentada en la autonomía.¹⁰¹

Desde nuestro punto de vista, no queda claro que la elección de los padres respecto a las características físicas que desarrollará el embrión condicione la conciencia respecto a lo “espiritual” de su personalidad futura, o que la asignación de los progenitores de potenciales aptitudes condicione tanto el verdadero desarrollo de las mismas como la inhabilitación para otras, o su no deseo.

La duda que hay detrás de esta reflexión es de sí verdaderamente podemos estar seguros de que las cualidades individuales están sujetas a predeterminismo genético, o al menos en parte, y en qué parte. De todas formas parece claro que el ambiente social que va a rodear al individuo que nace va a influir, en una buena proporción a nuestro entender, tanto en el desarrollo de las capacidades de la futura persona, como en las decisiones que tomará a lo largo de su vida con relación a ella.

En lo que sigue vamos a considerar un escenario hipotético donde se permite realizar niños diseñados por medio de ingeniería genética en embriones, sin utilizar para ello la distinción entre preembrión, embrión y feto. Tampoco vamos a considerar, a no ser que se haga constar expresamente, ningún tipo de prohibición de la modificación relacionada con el tiempo de gestación. Lo que nos interesa resaltar en este momento es la posibilidad de que individuos racionales puedan decidir los aspectos físicos y de potenciales aptitudes de su progenie en un escenario en que esto sea posible sin limitaciones, y con riesgos de efectos colaterales no queridos prácticamente inexistentes. Ello nos permitirá

101 Ver al respecto el sugerente artículo de Sabater (1997: 13). Otras voces sin embargo se preguntan qué es ser persona, y se interrogan incluso acerca de la justicia de permitir o no otras posibles especies futuras de hombres diseñados por medios técnicos por otros hombres. Es la posición, por ejemplo, de Ciuro (1996: 11-16).

evaluar mejor algunas de las posibles consecuencias éticas y sociales derivadas de la admisión de estas prácticas.

En nuestro escenario una pareja de clase media acaba de recibir la feliz noticia para ellos de que van a tener un hijo. Tras la lógica alegría de ambos surge su primera preocupación: el niño cuando nazca será “normal”; es decir, si estará sano, lo cual remite en última instancia a que la futura persona tenga sus funciones vitales y sus potenciales aptitudes en los márgenes admitidos por la sociedad en la que va a nacer. Para el caso que nos ocupa la normalidad se entiende en el sentido de que el código genético del embrión no presenta errores que vayan a conducir a enfermedades, y que su coeficiente intelectual sea superior al umbral en que se sitúa la deficiencia.

Como la preocupación es mucha, y la incertidumbre puede transformarse en probabilidad de riesgo gracias a los métodos ya diseñados, en ese futuro hipotético del cual hablamos, el feto es sometido a diagnóstico genético. Por suerte para los futuros padres el embrión puede llegar a ser un niño “normal” y no hay que someterlo a terapia génica que todavía es muy cara. Los padres se alegran enormemente de esta buena noticia y regresan a su casa felices porque su hijo no será un deficiente mental ni un discapacitado, al menos en el sentido de tendencia futura a una enfermedad de origen hereditario de la cual ellos serían los transmisores. Al día siguiente al abrir el buzón los futuros padres encuentran publicidad sobre la posibilidad que les ofrece una clínica privada de poder elegir las características físicas y las potenciales aptitudes del hijo que van a tener. Pero dejemos en este punto nuestra historia, dejando al lector que la termine por nosotros.

En este hipotético escenario futuro se nos presentan varias cuestiones de interés relacionadas con lo ético y lo social. En primer lugar, la posibilidad de un diagnóstico genético en el embrión que condiciona, y en algunos casos determina, la posibilidad de aborto. En segundo lugar, la cuestión de que en muchos casos pese a ser posible el diagnóstico genético embrionario, no será posible la terapia

correctora de estos defectos. En nuestro ejemplo no es técnico, sino económico. En tercer lugar, la posibilidad de una eugenesia de tipo positivo donde quien disponga de recursos puede mejorar tanto el físico como las potenciales aptitudes de sus descendientes. En cuarto lugar, supone la existencia de neutralidad científica y tecnológica, y que la responsabilidad de las aplicaciones eugenésicas positivas que se efectúan recae en decisores individuales. Esto remite al argumento de que la ciencia es un producto social y que, por tanto, en última instancia es a la sociedad a quién hay que pedir responsabilidades, lo cual está inserto en el estado de <<desresponsabilización>> tan característico de las sociedades actuales.¹⁰²

La mejora del genoma individual podría realizarse en un embrión o en un adulto. En todo caso lo que difiere aquí es únicamente quien toma la decisión, lo cual no deja de tener algunas consecuencias que más adelante examinaremos. Asumimos en este apartado que el adulto es plenamente capaz, y por tanto es autónomo en sus decisiones; mientras que el embrión no es autónomo, y está sometido a las decisiones que sobre él toman los progenitores. Pero veamos a continuación algunos de los argumentos por los que se rechaza la posibilidad de una mejora genética.

Uno de los argumentos críticos más utilizados por los detractores de la mejora genética del embrión es el que hace referencia a que la mejora genética introducida, implica la pérdida de la futura “autonomía” del individuo que vaya a nacer. Un buen ejemplo del significado de este concepto lo encontramos en Norbert Bilbeny cuando, refiriéndose a un caso de decisión informada de aborto una mujer, se encuentra con consejos contrarios con relación a sí debe o no abortar:

Pues bien, si ella obrase en conformidad con cualquiera de estas fuentes, pero sin haber reflexionado antes, a su propio y personal criterio, sobre la conveniencia de su acción, tendríamos que decir que ha decidido según una voluntad heterónoma. Literalmente, según una ley o disposición ajenas. Si, por el contrario, cualquiera que haya sido su opción, ha atendido

102 Véase al respecto Agazzi (1996: 233 y ss.).

previamente a lo que disponen su razón y su conciencia, esta mujer habrá decidido según un querer autónomo, es decir, según una voluntad no predeterminada por disposiciones diferentes a las de su <<propia>> ley o autonomía (Bilbeny, 1992: 237-238).

La idea que hay detrás es que el azar de la mezcla genética de los padres biológicos fecundadores conlleva al tiempo un correlato azaroso tanto del físico como, y más importante, de potenciales aptitudes del futuro individuo. Se supone que someter a mejora genética a un embrión implica necesariamente determinar sus futuras “aspiraciones de autorrealización”, como persona. Recordemos, como señala Ramón Vargas Machuca, que este es el: “concepto funcional central y *telos* originario de la moral marxista.” Vargas, 1992: 211). Por otro lado, este concepto se sitúa en la tradición marxista e ilustrada como proyección del individuo racional, libre, sujeto a responsabilidad, con derechos a proteger y necesidades a satisfacer. Es decir, que el individuo mejorado genéticamente en su estado embrionario no tiene aspiraciones de autorrealización; ya que estas no corresponden con su voluntad, sino a la de la que decidió la mejora genética aplicada, pero no a la propia voluntad del individuo que posee ese genoma. De ser esto cierto, supondría que la autorrealización como base que es del “proyecto de vida individual”¹⁰³ condicionaría a este sobre la base de la mejora genética efectuada. La consecuencia de esto es la pérdida de la autonomía individual, que es uno de los criterios fundamentales de la libertad humana. A quien se niega la posibilidad de elección propia sobre sus proyectos de vida se le niega al mismo tiempo la libertad de aspirar de hacer con ésta lo que desea. En última instancia, desde esta crítica se entiende que el diseño genético en el embrión presentaría por primera vez en la historia de la humanidad la posibilidad de que se hiciera realidad la anti-utopía de Aldous Huxley, y ello si el decisor fuera el Estado y no los progenitores. La conocida obra de este autor: *Brave new World* plantea

103 En: “*The Philosophy of Loyalty*”, lec. IV, sec. IV, Royce utiliza la noción de proyecto para caracterizar los propósitos coherentes y sistemáticos del individuo; lo que le hace una persona moral, consciente y unificada.” Citado por Rawls (1995: 451).

un mundo absolutamente determinado por la manipulación genética, en donde los individuos son esclavos de los genes que en ellos han introducido. En este mundo, donde no hay posibilidad de huida, la predeterminación genética se convierte en la norma que rige a la sociedad y al individuo. En la anti-utopía de Huxley la elección genética que es establecida por el grupo social dominante condiciona el puesto social a ocupar por el individuo. En este momento no nos ocuparemos de las consecuencias sociales que conlleva una estratificación social basada en la ingeniería genética, donde si el Estado es el decisor, es probable que nos encontremos con un estado de cosas parecido al señalado por Huxley. Lo que nos interesa resaltar aquí son las consecuencias sociales derivadas de microdecisiones de progenitores respecto al diseño de su progeñie.

¿Pero es cierto que un cambio genético que posibilite un cambio físico, un cambio en las potenciales aptitudes, o ambas cosas a la vez, supone *mutatis mutandi* un cambio, por así decir, de individuo? y, por otra parte, ¿cuáles son las consecuencias tanto individuales como sociales de tal cambio? Por último, ¿el “individuo sustituto” pierde su autonomía, y por tanto su libertad, convirtiéndose de esta forma en esclavo de su mejora diseñada? Con el concepto de “individuo sustituto” nos referimos al individuo que ha sufrido cambios no terapéuticos en su genoma original. El “individuo sustituto” se contrapone al “individuo” que no ha sufrido cambios, o solo los ha sufrido terapéuticos, en su genoma original.

Lo que parece claro es que para los partidarios de las posiciones proazaristas de la reproducción humana el diseño genético comporta las consecuencias anunciadas *ut supra*, y por tanto debe prohibirse. Ello es así porque desde esa perspectiva se entiende el genoma como determinante de lo que el individuo será. Dicho de otra forma, lo que parece defenderse desde las posiciones proazaristas de la reproducción es la defensa de un proyecto de vida vinculado a la incertidumbre tanto de los aspectos físicos, como fundamentalmente de las aptitudes de los individuos que vayan a nacer. Ésta es la posición de Fernando Sabater cuando dice:

Es lícito planear tener un hijo, pero resulta repugnante planear el hijo que se va a tener: esta actitud rompería la igualdad fundamental entre los humanos cuya base es el azar genético y genésico del que provenimos todos por igual. Porque la tiranía determinista no es la del azar, que nadie controla, sino la que impondrían seres iguales a nosotros configurándonos a su capricho (Sabater, 1997: 13).

El *quid* de la cuestión radica en saber hasta qué punto es cierto que el genoma es determinante de lo que el individuo es, de lo que pretende ser, y de lo que será; y hasta qué punto esto depende de los aspectos culturales, institucionales, en último término de la sociedad donde se desarrolla una persona. Al respecto, no nos parece nada claro que el “individuo sustituto” sea menos autónomo que el “individuo”, debido a que este último permanece invariado en su genoma, y por tanto en su futuro aspecto físico y potenciales aptitudes. Lo que aquí queremos señalar es que no creemos que “individuos sustitutos” diseñados para que sean Mozart, por poner un ejemplo de sobras conocido, vayan a ser Mozart. En otros términos, un “individuo sustituto” al que se le hubiera insertado el gen o genes que regularan la capacidad de pintar puede que efectivamente disponga de esa capacidad, pero de ello no se desprende que vaya a ser pintor, o que no disponga de otras capacidades no diseñadas. Aunque en el estado actual del conocimiento sobre genética no resulta nada claro que capacidades pueden ser innatas y cuales adquiridas, o si todas son innatas o adquiridas. Aquí asumimos la hipótesis de que existen capacidades innatas, que éstas están en los genes, y que si el estado de la técnica lo permite se pueden introducir en el embrión.

Es ingenuo pensar que el “individuo sustituto” por el simple hecho de ser diseñado en su físico, o en algunas de sus cualidades aptitudinales se convierta en el sustituto de un individuo autónomo, cuyo mérito para ser individuo no sustituto es el de ser diseñado por una combinación azarosa de sus progenitores. La libertad individual, según nuestro propio juicio, no está ligada, o al menos no lo está en buena parte, al genoma poseído, sino a las posibilidades sociales que un

individuo concreto tenga de autorealizarse en su sociedad, y a las posibilidades que le ofrezca ésta, de aproximarse al proyecto de vida por él elegido.

La argumentación de que el genoma poseído genera prestancias físicas y aptitudes sociales (cuyo valor en muchos casos corresponde a modas pasajeras) depende en último término de la verdad que exista detrás de la afirmación de que el genoma determina lo que somos, e incluso lo que pretendemos ser. Entendemos por “moda” en sentido weberiano, es decir, que:

La moda, por contraposición a la costumbre, existe cuando (al contrario que en la costumbre) el hecho de la novedad de la conducta en cuestión es el punto orientador de la acción. Está próxima a la convención, puesto que como ésta (la más de las veces) brota de los intereses de prestigio de un estamento (Weber, 1993: 23).

No creemos que este sea el caso, pero tampoco queremos caer en la ingenuidad de creer que lo social es el absoluto y único creador del individuo. Hay a nuestro entender una relación entre lo que el individuo es a través de su genoma y de lo que el individuo es a través de su desarrollo en sociedad.

El error consiste en creer que con el “individuo sustituto” cambiarán las reglas del juego social, incrementándose sus aspectos negativos: injusticia, desigualdad, disminución de la libertad, intolerancia, racismo, etcétera. Puede que la sociedad del futuro sea así, y que un diseño genético admitido socialmente posibilite en buena medida este incremento de los aspectos negativos de la misma, pero también es posible que la sociedad encuentre el modo de evitar los efectos negativos del diseño genético. En todo caso siempre habrá que distinguir entre las aptitudes de capacidad adquiridas mediante el aprendizaje de las heredadas genéticamente, y en último término será el valor otorgado por los progenitores a las distintas capacidades quien determinará la elección de diseñar éstas, aquéllas otras o ninguna en los descendientes.

Asumimos en nuestro modelo que este valor dependerá para los progenitores de sus respectivas relaciones entre el “conjunto de ordenación de preferencias racionales”, de motivación estrictamente económica, y del “conjunto de ordenación de preferencias éticas”. En este esquema jugará también un papel importante la interacción de los progenitores, su capacidad de llegar a acuerdos de compromiso, y las relaciones de ambos con su grupo de referencia más próximo, y con los principios que rigen su sociedad en general. No hay que olvidar que el individuo nace en un mundo con valores establecidos que se le inculcan a través de la socialización. No vamos a entrar aquí en el controvertido mundo de la: formación, asimilación, preferencias, conflictos de los valores. Lo que nos interesa señalar en este momento es que progenitores racionales elegirán conforme a sus respectivas relaciones y pesos de sus conjuntos de ordenación “racional” (conforme a criterios económicos), y “ético” (conforme a criterios morales), y además en conformidad con los acuerdos a los que lleguen. Además, individuos que actúen racionalmente deberían ser capaces de decirnos, ante una decisión de diseño genético como la planteada, los elementos, pesos y distribuciones que han compuesto sus ordenaciones, y los términos de su acuerdo.

Otra característica a tener en cuenta es que el mayor número de capacitados en algo disminuye el valor social concedido a esa capacidad. La idea que hay detrás de esto es simple: el valor social de una capacidad viene determinado por su singularidad. Cuantos más progenitores diseñen físicos y potenciales aptitudes muy valoradas socialmente en el presente, menos valdrán éstas en el futuro. Ello no implica necesariamente la no realización de diseños, motivada por el hecho de que un número elevado de diseños, bajo las mismas formas socialmente valoradas en el presente, desvalorizaría en el futuro las capacidades adquiridas mediante el cambio genético. Y no lo implica necesariamente porque los progenitores presentes no disponen de información sobre lo que harán otros progenitores, y porque el no diseño puede traer como consecuencia la desvalorización de la propia progenie por no llegar a la capacidad poseída por las progenies diseñadas. El

resultado de todo esto es que para progenitores racionales lo racional es diseñar físicos y potenciales aptitudes en su descendencia, y ello si no quieren que en un futuro, ésta se halle minusvalorada. Ello puede tener, como consecuencia no querida, que las capacidades diseñadas por los progenitores para su progenie en el presente, en el futuro tengan un valor menor incluso que las obtenidas a través del no diseño genético del embrión. Como fácilmente se puede entresacar del argumento empleado aquí, estamos haciendo uso del ya clásico “dilema del prisionero” de la Teoría de Juegos. Este dilema muestra de manera muy sencilla:

Como la racionalidad individual puede conducir a la irracionalidad colectiva; a un resultado global no deseado por nadie. Se nos presentan dos estrategias: cooperar (C) o defraudar (D). A cada uno de ellos le interesa ante todo, comportarse como un francotirador y dejar que el otro coopere, pues de tal forma obtiene el mayor beneficio sin coste alguno. La estrategia no cooperativa (D), domina por tanto, a la estrategia cooperativa (C). Mas lo que resulta de tal dominio, la solución del juego, es el fracaso de la cooperación: el dilema del prisionero conduce irremediamente al vector (D, D) no deseado por nadie (Aguilar, 1990: 16).

En último extremo la consecuencia social es desastrosa, ya que conduce, a través de la uniformidad física y de capacidades, a una sociedad en donde todos son clones de un mismo diseño genético. Lo cual no quiere decir, como ya apuntamos más arriba, que todos los individuos diseñados vayan a desarrollar las mismas capacidades. Pero si es cierto que las pueden desarrollar y las mismas son socialmente valoradas, entonces las desarrollaran. Si esto es así, esas capacidades perderán su singularidad, al ser de uso común, y por tanto serán menos valoradas en la sociedad que de ellas dispone con abundancia. En todo caso, como señala James Watson: “La diversidad Genética otorga probablemente diversidad de capacidades a los individuos pero (y precisamente porque) son las sociedades quienes otorgan valores a las diversas capacidades y no los genes que se heredan.” (Watson, 1993: 37).

De todas formas, ¿cabe esperar que la reiteración del juego presentado entre los progenitores, y su posibilidad de decidir sobre si aceptan o no que su progenie se diseñe genéticamente, haga surgir entre los mismos estrategias condicionalmente cooperativas? Las estrategias condicionalmente cooperativas, denominadas habitualmente en nuestro idioma estrategias de <<toma y daca>>, en traducción del inglés <<tit for tat>>: “se caracterizan por comenzar siempre cooperando, para actuar a continuación tal y como lo haga la estrategia dominante: cooperando si coopera, defraudando si defrauda.” (Aguilar, 1990: 20-21). Para el caso que nos ocupa va a ser muy difícil que los progenitores acepten esta estrategia condicionalmente cooperativa (o de <<toma y daca>>), puesto que el coste de información de lo que harán los otros progenitores es muy alto, y además los resultados que permitirían saber si se ha producido colaboración (aquí implicaría no diseño), o no colaboración (aquí implicaría diseño), se diferencian mucho en el tiempo. Por otro lado, es muy probable que nos encontremos ante un juego de una sola jugada, puesto que una vez decidido el no diseño este puede llevar a la progenie a desventajas sociales no reparables para ellos. En todo caso, esto último dependerá de si es posible o no diseñar genéticamente características físicas y aptitudes en adultos que puedan equilibrar, de alguna forma, la posible desventaja inicial de no ser diseñado genéticamente cuando se era embrión.

Existe en este campo de los “niños de diseño” la posibilidad de que las técnicas de la ingeniería genética vinculadas a este diseño sean aprovechadas por elites sin escrúpulos, a fin de hacer una sociedad a su medida. Este es un temor muy presente a la hora de rechazar el diseño genético en los embriones, pero también en adultos.

4. El caso de los “adultos de diseño”

Veamos a continuación otro lado de la misma moneda o, por mejor decir, el mismo lado con una figura distinta. Con este juego de palabras nos referimos a cuando la decisión de diseño genético no la realizan los progenitores, sino el

mismo individuo al cual se le va a manipular el genoma.

Aquí debemos preguntarnos, en primer lugar, si es admisible un diseño genético sobre la base de la propia voluntad del individuo que quiere someterse a él, o en qué casos éste puede ser admitido. No entraremos aquí a discutir las indudables consecuencias que sobre la igualdad conlleva el admitir esto. Lo que nos interesa en este momento es presentar un escenario hipotético donde el diseño genético en adultos es posible, y ello en vistas a analizar las consecuencias que se derivan de ello.

La pregunta que nos hacíamos en el párrafo anterior no es del todo ingenua desde el punto de vista sociológico, puesto que la mercantilización ha ido ocupando cada vez más espacios de lo humano. La idea que hay detrás de esto es que el mercado y los valores que lo sustentan tienden, en las sociedades capitalistas, a extenderse y a ocupar áreas que antes eran ocupadas por otras formas y valores sociales. Cabe hacerse una nueva pregunta, al hilo de lo que acabamos de señalar, y es la de si la tendencia mercantilizadora del todo social, inserta en el núcleo del capitalismo, es controlable. Presentamos a continuación un escenario social hipotético donde son admitidos tanto los cambios genéticos relacionados con el físico, como los relacionados con las capacidades individuales, y ello para los individuos que así lo deseen y se lo puedan pagar.

4.1 Cambios genéticos en un adulto relacionados con su físico

Pongámonos en el caso de un individuo de nariz grande, ojos negros y pequeños, boca enorme y pelo rizado que desea tener una nariz pequeña, ojos azules y grandes, boca pequeña y pelo liso. Supongamos que este hombre es capaz, en el sentido económico, de que le diseñen un nuevo aspecto físico que corresponda con sus gustos. Supongamos también que a este cambio físico que desea puede acceder de dos formas: a través de cirugía estética o a través de un cambio en la información de su genoma que rige los aspectos señalados. Actualmente no está nada claro qué consecuencias secundarias adversas puede tener un cambio

genético como el planteado. Aquí trabajamos bajo el supuesto de que están controladas estas consecuencias secundarias adversas.

Puesto a efectuar los cambios señalados en el párrafo anterior el individuo que se conduzca racionalmente evaluará las condiciones de oferta que le ofrecen sistemas alternativos que le permitan obtener lo que desea (en el caso que nos ocupa cirugía estética y cambio genético), y elegirá aquél que maximice su beneficio según su “conjunto de oportunidad”. La conducta racional se puede expresar del siguiente modo:

Un individuo se conduce racionalmente en un sentido estricto sí (i) cuenta con un conjunto dado de preferencias consistentes; (ii) a tenor de tales preferencias busca los medios más adecuados para maximizar su beneficio. Se dice que las preferencias son consistentes cuando los individuos establecen una jerarquía dentro de ellas (o, en sentido técnico, una ordenación) que satisface los requisitos de completud y la transitividad. Entre dos alternativas X e Y, o bien prefiero X a Y o bien prefiero Y a X. Esto es lo que afirma la completud. Según la transitividad si prefiero X a Y e Y a Z, entonces también prefiero X a Z (Aguilar, 1990: 10).

El “conjunto de oportunidad”, denomina a aquellas acciones que son coherentes con todas las restricciones físicas, económicas, legales y psicológicas con las que se enfrenta el individuo.¹⁰⁴

La pregunta que se nos plantea aquí es realmente existe una diferencia sustancial que impida aceptar la intervención genética, pero que permita la cirugía plástica, y ello cuando el resultado a alcanzar es el mismo. Para contestar esta pregunta no debemos olvidar, para el caso que nos ocupa, que las elecciones individuales formadas a través de deseos particulares, devienen de forma sustancial de los valores predominantes en una sociedad dada. Desde este punto de vista son las satisfacciones o beneficios de otros tipos, que se pueden obtener por acercarse a un canon de belleza socialmente valorado, las que nos hacen situar a este

104 Ver al respecto Elster (1996: 23-30).

dentro de nuestro conjunto de oportunidades, y ponderarlo conforme a nuestras preferencias “racionales” (vinculadas con lo económico), y éticas (vinculadas con nuestras creencias morales).

La ingeniería genética asociada a cambios físicos puede acrecentar (vía costes económicos, psicológicos e incluso de aceptación social) la posibilidad de acceder a un cambio físico. En el sentido de que puede ser, hipotéticamente hablando, más aceptable un cambio de las características físicas mediante ingeniería genética, que un cambio de las mismas por medio de cirugía estética; y ello porque el primero no supondría estar sometido al temor de la marca (cicatriz que puede conducir al estigma social) ni al dolor que conllevan las operaciones físicas.

Si lo dicho en el párrafo anterior es cierto, y el acercarse a un canon de belleza de una sociedad dada es visto por el individuo como “imprescindible” y fácilmente realizable; entonces podemos encontrarnos que para cierto umbral el canon de belleza de una sociedad cambie, y la modificación genética a tal respecto no obtenga las consecuencias que de ella se esperan. Es decir, en el plano colectivo, el crecimiento de compradores del canon de belleza de moda cambia las características del canon. En otras palabras, no hay que temer que se llegue a una sociedad donde todos sus individuos sean iguales en lo físico, puesto que lo repetido deja de ser original, y lo no original no es valorado. Sin embargo, volvemos a encontrarnos en este hipotético mundo con el dilema del prisionero que ya apuntábamos para el caso de los niños de diseño. Pero para este caso, sí que creemos que es posible una estrategia condicionalmente cooperativa, puesto que los resultados del juego son visibles, más o menos, en el corto plazo. También es posible un juego repetido, ya que el cambio físico a través del genoma puede realizarse una vez observado lo que han hecho los demás, tanto para el caso de embriones diseñados genéticamente que ya son adultos como para adultos que decidieron cambiar su físico mediante ingeniería genética. Sin embargo, es posible que el juego tenga las consecuencias de que los primeros se lo lleven todo, es decir, las ventajas sociales derivadas de aproximarse al canon de belleza

existente en una sociedad dada. Esto implicaría que para los segundos el cambiar su físico mediante la ingeniería genética para estar a la “moda física” dejaría de tener alicientes, puesto que con el mismo las ventajas que obtendrían serían mínimas e inciertas.

No sabemos en qué umbral los individuos de una sociedad dada cambiarían el contenido genético que determina su físico. Por poner un ejemplo próximo, no todo el mundo que tiene dentro de su “conjunto de oportunidad”, poder hacerse cirugía plástica toma la decisión de hacérsela. Lo que sí parece claro es que, en el caso de que exista libertad absoluta para poderlo hacer, que se produzca el cambio genético relacionado con el físico de un individuo dependerá en buena medida de las ventajas que ello le reporte, y que esto último vendrá condicionado por las elecciones que otros individuos tomen al respecto.

4.2 Cambios genéticos en un adulto relacionados con sus capacidades

Asumimos aquí que se pueden adquirir capacidades cambiándose alguna parte del genoma, lo cual es algo discutible que pueda llegar a producirse, por lo menos sobre la base de los conocimientos actuales del tema. Hemos optado por esta improbabilidad, antes que por algo más probable, como sería el cambio de aptitudes, o de su adquisición. Es decir, por la dotación al individuo de la aptitud para el desarrollo de capacidades que de otro modo no tendría, o le sería muy costoso obtener. Nuestro proceder se debe a que lo que nos interesa remarcar aquí son las consecuencias últimas de un escenario, que aunque improbable, no debe descartarse como posibilidad de futuro. En cuanto al desarrollo de aptitudes para tener determinadas capacidades, consideramos que difiere algo de lo que apuntamos para las capacidades.

Una capacidad valorada se adquiere en nuestro escenario en el mercado de paquetes genéticos en vez de en el mercado del aprendizaje. Por otra parte, la aptitud para desarrollar dicha capacidad se compraría también en el mercado de paquetes genéticos, pero la capacidad en sí tendría que adquirirse en el mercado

del aprendizaje. Y es ésa precisamente la diferencia que observamos entre ambos escenarios, el de la adquisición de capacidades y el de adquisición de aptitudes, más probable, por medio de cambios en el genoma humano. No obstante, al igual que lo que ocurre en el caso de las capacidades, donde estas son adquiridas en el mercado de paquetes genéticos, el tener una aptitud que desarrolla una capacidad valorada implica que esta acabará desarrollándose si se tiene la posibilidad de adquirirla en el mercado del aprendizaje. Es decir, cambian los mercados, pero se mantiene una de las consecuencias principales: la desvalorización de la capacidad, y por tanto también de la aptitud que la posibilita. No estamos seguros, sin embargo, que en el caso de las aptitudes se produzca una pérdida del espíritu crítico, como ocurre en el caso de las capacidades. Además, debemos tener en cuenta, como resalta Jon Ester que:

Los individuos pueden desear restringir su libertad de elección (...) Hablando en términos generales, las personas pueden desear protegerse de sus propias pasiones, cambios de preferencias y [de la] inconsistencia temporal. Lo llevan a cabo mediante la eliminación de algunas opciones presentes en el conjunto de sus posibilidades –tornándolas más costosas o solo accesibles de forma diferida-, y cerrándose al conocimiento en su existencia (Elster, 2002: 15).

En nuestro modelo no vamos a tener en cuenta esta posibilidad de restringir las propias preferencias, pero quede claro que esto se puede dar. Reflexionaremos a continuación sobre los cambios genéticos que pueden llegar a incidir sobre las capacidades individuales. Aquí trabajamos, como hemos venido haciendo para los otros casos, bajo el supuesto de que la técnica de manipulación genética ha llegado a un punto en que es posible realizar cambios genéticos en adultos para proporcionar capacidades. También suponemos que los posibles efectos secundarios negativos de estos cambios son controlables.

Pongamos, por ejemplo, al mismo individuo anterior. Él una vez cambiado su aspecto físico, quiere poseer unas capacidades, que de ser adquiridas por el método tradicional de aprendizaje, tardaría años en obtener. Pongamos que nuestro individuo, Charly, siempre deseó ser más inteligente, tener capacidad para la música, la pintura, las artes en general.

Deseo aquello que no poseo y que sé que es posible obtener, aunque no entre dentro de mi conjunto de oportunidad en un momento determinado. Deseo, entre otras motivaciones, conforme a mis emociones, otras que experimento ante la envidia, el placer, la esperanza de llegar a ser o tener. Lamentablemente: “La naturaleza, las causas y las consecuencias de las emociones están entre los aspectos menos entendidos de la conducta humana.”(Elster, 1996: 67).

Es por el deseo, o más concretamente para satisfacerlo, que Charly decide comprarse el “paquete genético”¹⁰⁵ artes, con el complemento de cultura avanzada; también se compra el paquete de inteligencia científica 90-40 de grado medio que le permitirá entender sobre cuestiones de biología molecular, matemáticas y física, cuestiones que antes se le escapaban debido a su educación en ciencias sociales. Ni que decir tiene que los ingenieros genéticos de la clínica le aseguran con certeza absoluta que una vez realizados los cambios en su genoma él será más inteligente, culto y capaz. Pasado un año nuestro amigo Charly es todavía un hombre bello y sabio conforme a los estándares y modas de la sociedad en la que vive, ¿pero se siente satisfecho? Charly debería sentirse satisfecho puesto que ha obtenido algo valioso para él, algo que preferiría a otras muchas cosas también valoradas. Pero como nos lo recuerda Will Kymlicka:

Esto es un error ya que en realidad la cuestión es a la inversa. Tener una cierta preferencia no la convierte en valiosa; por el contrario, el que sea valiosa constituye una buena razón para preferirla. Y si no es valiosa, entonces, la satisfacción de mi preferencia equivocada no contribuirá a mi

bienestar (Kymlicka, 1995: 28).

105 La idea del “paquete genético” se utiliza aquí de la misma forma que si se tratara de un paquete de *software* informático.

En primer lugar, y considerando las capacidades compradas en términos de consumo y no de autorrealización, está la consideración de que en términos generales algo que se consume disminuye de valor, en mayor o menor medida, hasta que este se estanca con el tiempo, para el consumidor, y ello porque disminuye el deseo que originó su adquisición y el placer que se siente con su consumo. Puede resultar extraño que consideremos a las capacidades como productos consumibles, y no como formas que permiten la autorrealización. Obramos de esta forma porque en nuestro modelo las capacidades son productos que se adquieren en el mercado de bienes de consumo, son bienes que se deprecian, y que incluso se vuelven obsoletos. La idea de que los “paquetes genéticos” que podamos adquirir tienen un comportamiento similar a los paquetes informáticos, puede ayudar a captar mejor lo que hay detrás de nuestra consideración.

En segundo lugar, y más importante, es que algo que tiene mucha gente puede llegar incluso a carecer de valor, y por tanto perder la capacidad de satisfacer. Si todo el mundo compra el paquete genético “ser Picasso” y llenamos el mundo de cuadros idénticos, no solo los cuadros carecerán de valor, sino incluso la capacidad de pintar como Picasso; y ello porque esa capacidad que antes era peculiar de un individuo ahora puede ser poseída por todos los individuos que pueden comprarla. En este caso el valor que se concede a la capacidad de pintar como Picasso es el precio de compra del “paquete genético” pintar como Picasso.

Por un lado, y para el caso que nos ocupa, nuevos “paquetes genéticos” despiertan el deseo de Charly. Estos nuevos paquetes han atrasado los que le fueron introducidos, y por otro lado, ahora le atrae profundamente un “paquete genético sobre alta filosofía práctica” que la semana anterior le fue introducido a su mujer y a su vecino Bobby. Charly no entiende nada de las conversaciones de su mujer con Bobby sobre John Rawls, y su teoría de la justicia, sobre la metafísica kantiana vinculada con la práctica, y no entiende nada de nada cuando empiezan a hablar de las ideas de Edward Moore, aunque a ellos parecen excitarles.

De todas formas el paquete genético por el cual suspira más, desde hace un par de meses nuestro amigo Charly, es uno que lleva el sugestivo título de: “*sexual power*”, aunque cree que lo mejor será alquilar este paquete genético durante una semana con opción de compra. La idea de alquiler de paquetes genéticos por tiempos definidos nos vuelve a remitir a la informática, concretamente a los *shareware*. Es posible, al menos en nuestro escenario, insertar paquetes genéticos con términos de caducidad y con opción de compra. Somos conscientes de que lo que decimos aquí tiene, al igual que parte de este capítulo, cierto olor a ciencia ficción que se separa de la objetividad sociológica. Sin embargo, creemos que adelantarnos en posibles escenarios futuros e indagar sus consecuencias nos permite, aún a costa de aventurarnos en las arenas movedizas que separan lo posible de lo futurible, prever mejor hacia donde podemos ir e intentar alcanzar o evitar esas metas. En todo caso, la utilización de métodos de las ciencias sociales para analizar escenarios hipotéticos no es ajena al trabajo sociológico.

Esta ficción mercantilista nos permite avanzar un poco más en nuestra reflexión. En primer lugar, la posibilidad de acceder a “paquetes genéticos” de capacidades, se presenta como una posibilidad de satisfacer necesidades a través del mercado. En realidad estas necesidades se encuentran hoy satisfechas a través de instituciones sociales como la educación. Lo que cambia en el escenario presentado, con relación al actual de las sociedades occidentales, es el acceso a la capacidad a corto plazo previo pago y sin esfuerzo.

Esta mercantilización de las capacidades sociales comporta la pérdida de toda justicia social, puesto que las desigualdades económicas y sociales que originan no son ventajosas para todos, y además condicionan los cargos disponibles a la posibilidad de compra de las capacidades necesarias para ocuparlos. El concepto de justicia social lo entendemos aquí al modo de John Rawls. En él es imprescindible satisfacer los siguientes dos principios de justicia:

Primero: Cada persona ha de tener un derecho igual al esquema más extenso de libertades básicas iguales que sea compatible con un esquema semejante de libertades para los demás. Segundo: Las desigualdades sociales y económicas habrán de ser conformadas de modo tal que a la vez que: a) se espere razonablemente que sean ventajosas para todos, b) se vinculen a empleos y cargos asequibles para todos (Rawls, 1995: 82).

Un efecto colateral al anteriormente mencionado lo constituye el de la pérdida de valor del conocimiento. Es decir, si el conocimiento se puede adquirir a corto plazo y sin esfuerzo a través de su compra, el conocimiento valdrá aquello que se pague por él y no tendrá valor por sí mismo. Desde este punto de vista el papel del artista, intelectual y de los llamados “expertos”, que se basa en disponer de conocimientos sobre algún tema, o habilidades técnicas, y en todo caso de capacidades mentales, queda en entredicho. Para qué queremos artistas, intelectuales y expertos si todos podemos comprar la capacidad de ser artista, intelectual y experto. Pero con ser esto de indudable relevancia no nos preocupa tanto como la pérdida de pensamiento innovador, de pensamiento crítico y autocrítico que puede plantearse en una hipotética sociedad donde se mercantilice el conocimiento sobre la base de la manipulación genética. Aunque por fortuna, no creemos que llegue a existir una sociedad así; puesto que el conocimiento, y el pensamiento, crítico o no, depende en gran medida de la relación del individuo con la sociedad que lo rodea, sobre todo, en sus aspectos más culturales. En último término, el pensamiento, y el crítico no escapa a ello, es reflexivo y avanza conforme a sus propias producciones que acaban por conformar el conocimiento del que una sociedad se nutre. Como se ve, asumimos aquí una posición logoteórica (conforme a una realidad espiritual, según la terminología de José Ferrater Mora)¹⁰⁶ en donde el pensamiento sobre la realidad va construyendo y reconstruyendo a ésta, y ello lo hace a través de la reflexión que la convierte en conocimiento social condicionado (condicionado, en cierto sentido, por

106 Véase Ferrater Mora (1998: 3033).

la realidad que lo precede), pero no fijo (puesto que la realidad cambia con la reflexión que se realiza sobre ella). Es este conocimiento social condicionado cambiante el que el acto mental, la conciencia, percibe en su reflexividad dirigida a la realidad, y es él el que redirige, en su expresión, al nuevo pensamiento que es objeto, de nuevo, de reflexión.

CAPÍTULO 5

Repercusiones de las nuevas biotecnologías en la ciencia, el comercio agroalimentario mundial y el “tercer mundo”

1. Las relaciones ciencia-industria en el caso de las nuevas biotecnologías

Las nuevas biotecnologías tienen un elevado componente científico y tecnológico, lo que supone su acercamiento a la ciencia básica y al desarrollo de técnicas que las hagan viables, y también un acercamiento entre ambas. De hecho, las nuevas biotecnologías tienen un creciente entrelazamiento entre la ciencia y la tecnología que hace difícil distinguir entre ellas. En este sentido se manifiestan tanto como una tecnificación de la ciencia como una cientificación de la técnica y, por tanto, su ciencia es esencialmente tecnológica.¹⁰⁷

La ciencia juega un papel decisivo a la hora de descubrir los procesos que rigen la vida, pero sus descubrimientos muchas veces, no lo olvidemos, alcanzados por laboratorios públicos de investigación financiados públicamente son también, de alguna forma, la base para numerosas invenciones biotecnológicas; y se han convertido en base de acuerdos financieros entre empresas y laboratorios, incluso públicos, de investigación. Ello ha llevado a una situación de confidencialidad, de no divulgación de los resultados científicos que puedan ser interesantes desde el punto de vista económico, no al menos hasta la obtención de una patente que proteja dichos resultados.

¹⁰⁷ Respecto a la tecnificación de la ciencia y la cientificación de la técnica véase H. Stork (1977). Respecto a la esencia tecnológica de la ciencia véase a W. Barrett (1978).

La divulgación de los resultados obtenidos en las investigaciones es uno de los pilares en los que se ha sustentado la ciencia durante su historia. Esta divulgación se ha realizado a través de publicaciones especializadas, congresos, simposios, etcétera; y ha favorecido el debate de ideas, espoleando a los científicos de todos los tiempos en su afán de desarrollar más sus respectivas disciplinas. Es decir, el conocimiento científico punta estaba a disposición de la comunidad científica respectiva para su análisis, juicio y desarrollo. La ciencia se levantaba poco a poco en torno a pilares sólidos; pilares que después de un tiempo se inclinaban y acaban por desmoronarse, pero daban paso a nuevos pilares que se volvían a elevar. De esta forma unos conocimientos triunfaban sobre otros, e incluso sustituían a los que por un tiempo eran considerados como predominantes en una disciplina. La imagen nos remite al concepto de “paradigma” kuhniano de la estructura de las revoluciones científicas;¹⁰⁸ y más concretamente al cambio entre ellos producto de la decadencia (crisis) de teorías predominantes, el ascenso de otras que con ellas rivalizan (revolución), y el posterior asentamiento de éstas como paradigma, es decir: “como modelo o patrón que los científicos de una determinada época comparten.” (Álvarez, 1995: 161). Y es que según Khun, como nos lo recuerda Ana Rosa Pérez Ransanz:

La investigación científica que se realiza la mayor parte del tiempo (ciencia normal) es la investigación organizada bajo un mismo marco de supuestos básicos (paradigma). La investigación de este tipo se caracteriza por ser básicamente una actividad de resolución de problemas (enigmas), la cual está encaminada a lograr el acuerdo entre la teoría vigente y los hechos (Pérez, 1995: 176).

Esta imagen de la ciencia como una hermandad que pone en común sus más preciados tesoros para levantar su edificio, de tal forma que el esfuerzo realizado por cada cual queda reconocido por la comunidad por medio del reconocimiento

108 Véase Khun (1995).

académico, ha sido sustituida a consecuencia de la entrada de la ciencia en el mercado; lo cual ha originado nuevas formas de entender el hacer científico. Lejos quedan los días en que el científico individual a través de un esfuerzo titánico arrancaba sus secretos a la naturaleza. En la actualidad la actividad científica requiere personal científico altamente especializado que trabaje en equipo, personal de administración de I+D, maquinaria e instalaciones equipadas con los últimos avances, contactos con otras Instituciones y participación en red con las mismas. Todo ello muy alejado del alcance y capacidades de un único sabio. Tampoco un solo individuo puede alcanzar las complejidades que plantean las investigaciones actuales; para ello se necesitan equipos de investigación preparados, y en muchos casos multidisciplinares. Por último, los enormes recursos que se necesitan para llevar a cabo los proyectos inciden de forma decisiva en los campos de investigación. En este sentido, la financiación, sea ésta pública o privada, exige por parte del científico un compromiso de resultados prácticos para la sociedad en general, o para la empresa en particular, que condicionan en gran medida su trabajo.

La ciencia como tal se ha convertido en campo de interés para las empresas. El conocimiento científico puede rendir extraordinarios beneficios económicos. Se trata de aprovechar las oportunidades que surgen de este campo para obtener ventajas en un entorno tan competitivo y globalizado como el actual. Sin embargo, no es nada sencillo ni barato transformar el conocimiento científico puro en algo tangible que se pueda rentabilizar económicamente. Por otro lado, existe incertidumbre sobre cuales serán los resultados de las investigaciones que se realizan, de si se llegará a tiempo de ganarle la carrera a un competidor con los mismos intereses, de si tendrá éxito el nuevo producto o proceso en el mercado, y de cuánto tiempo se dispondrá para amortizar la inversión realizada.

Tampoco todo conocimiento científico puede ser aprovechado por el mercado, y por tanto algunas líneas de investigación carecen de interés desde un punto de vista meramente mercantilista. Pero este hecho, claramente limitador para

algunas áreas científicas, no debe hacernos olvidar algo todavía más importante que la ciencia se mueve en el largo plazo, y lo que no es rentable en el corto plazo, en que se mueven los mercados financieros y las empresas, puede serlo pasado un tiempo: cuando se agreguen nuevos conocimientos, cambien las reglas de juego, o se sustituyan las áreas del entorno competitivo. Es este aspecto del mercado que prioriza sus necesidades a corto plazo, y que requiere de la ciencia soluciones rápidas, el que origina que sean precisamente las administraciones públicas las que se hagan cargo, a través de sus políticas, de la ciencia llamada “básica”. En éstas, la ciencia se financia atendiendo prioritariamente a una de sus funciones sociales: el incremento del conocimiento. Ello no quiere decir que se desatienda la función del incremento de la riqueza de las poblaciones que financian ciencia, objetivo éste que cada vez se prioriza más en los sistemas públicos de I+D, sino que el aumento de conocimiento se tiene como un bien lo suficientemente deseable como para priorizarse. Por supuesto las empresas están lejos de argumentar de esta forma altruista; y sus motivaciones a la hora de financiar ciencia son la apropiación de los conocimientos obtenidos, y la obtención los máximos beneficios posibles que de éstos deriven.

Dos factores nuevos inciden con la llegada de las nuevas biotecnologías en las relaciones entre ciencia e intereses económicos. Uno de ellos es el cuestionamiento ético que hay detrás de la apropiación de la vida por parte de los que aportan o aportarán los conocimientos que rigen sus mecanismos e implicaciones. No olvidemos a este respecto, como nos lo recuerda Jeremy Rifkin, que: “El estudio de la célula madre nos coloca por primera vez cara a cara frente la perspectiva de crear una sociedad eugenésica impulsada comercialmente en el siglo XXI.” (Rifkin, 2001). El otro es qué formas debe adoptar esta apropiación. Respecto a las mismas, la presión de las multinacionales para que estas tecnologías se acojan al régimen de patentes ha forzado los propios principios de este y plantea, como ya hizo notar en su día el Grupo de los Verdes en el Parlamento Europeo:

El conceder derechos exclusivos sobre las formas de vida a numerosas empresas, financieramente poderosas, que controlan actualmente la tecnología genética del futuro plantearía los siguientes problemas:

1. Los agricultores se verían obligados, para cada generación de plantas o de animales concernidos por la biotecnología, a pagar cánones a los tenedores de patentes de los que serían por tanto totalmente tributarios.
2. Los seleccionadores ya no tendrían libre acceso a los bancos genéticos -que dependen actualmente del sector público- y las innovaciones en su sector dependerían ante todo de los especialistas del derecho de patentes de las grandes sociedades, que dictarían así las orientaciones de investigación biotecnológica.
3. Los consumidores, por los cánones sobre las patentes, verían aumentar el coste de un buen número de productos -en especial alimentos y medicamentos- mientras que los nuevos productos dependerían más de las posibilidades de provecho vinculadas a las patentes que a su calidad real para el consumo.
4. La libre circulación de la información científica se vería considerablemente reducida, en detrimento de la innovación y, en particular de la investigación pública: <<las patentes, destaca a este respecto Paul Lannoye (Verde belga), protegen esencialmente a la investigación aplicada para fines comerciales y no a la investigación científica en sí>>.
5. La libre competencia en los sectores agroalimentarios, farmacéutico y químico se vería amenazada por los monopolios temporales que confiere la patente
6. Los países en vías de desarrollo serían privados del acceso a los recursos genéticos nuevos, libremente intercambiados hasta ahora, aunque sean los principales suministradores de recursos genéticos naturales en la Comunidad Económica Europea (CEE) y del norte en general (Europa Información Internacional, 1992: 13).

2. Las nuevas biotecnologías favorecen el monopolio en la cadena agroalimentaria

Un tema fundamental que incide en el modelo de desarrollo de la tecnología, en este caso las nuevas biotecnologías no son una excepción, es el de quién la controla. El control incluye, entre otros, sin ánimo de ser exhaustivos, los siguientes aspectos: la decisión sobre qué tecnología desarrollar; los objetivos que la misma persigue; la decisión sobre los medios, tanto materiales como intelectuales, que se emplearan en la consecución del fin perseguido, la tecnología; la decisión sobre quien tendrá acceso y quien no a ella, y bajo qué condiciones; la orientación, o, si el control es lo suficientemente grande, el veto de los desarrollos que de ella se deriven; la obtención de los beneficios asociados a la misma; el graduar su implantación en la sociedad. Un ejemplo, aunque utópico, de control absoluto de la tecnología, pero también de la ciencia, en una sociedad lo encontramos en el libro de Francis Bacon: *Nueva Atlántida*, donde la Casa de Salomón es la institución que alberga el saber, tiene el monopolio exclusivo de transmisión de los hallazgos científicos o tecnológicos, decide sobre cuáles de éstos deben ser públicos y utilizados y cuáles no.¹⁰⁹

Íntimamente ligado al tema de quién controla las nuevas biotecnologías está el tema de cómo funciona este control, y cuáles son los mecanismos institucionales y sociales existentes para controlar al controlador de la tecnología. Este tema es muy importante; ya que de la implantación de controles institucionales y sociales dependerá la creación y uso de tecnologías adecuadas, y su distribución equitativa y justa. No creemos que el mercado sea el mecanismo, o mejor dicho el único mecanismo, que deba controlar las tecnologías. El mercado no tiene, por un lado, en consideración el bien público y, por el otro, no se rige sobre la base de criterios democráticos. Ambos aspectos muy importantes a la hora de legitimar el control que se realice de las tecnologías.

109 Véase F. Bacon (1988).

2.1 Etapas de introducción de las nuevas biotecnologías en el mercado agroalimentario mundial

Son las empresas transnacionales de los sectores farmacéuticos y agroquímicos las que actualmente tienen más poder en el control del desarrollo y avance de las nuevas biotecnologías que se aplican en la agricultura. Empresas farmacéuticas transnacionales como Bayer tienen secciones dedicadas a la protección de cultivos con herbicidas como los de la marca Goltix® y Sencor®, insecticidas que llevan marcas tan conocidas como Bulldock® y Baythroid®, abono para semillas como el de la marca Gaucho®; y productos para la salud de los animales que incluyen medicamentos y vacunas, pero también protección de sus alimentos y control de infecciones con Baytril®. Otro caso es el de la empresa farmacéutica Novartis que produce tratamientos de semillas para cereales, maíz, patatas, algodón, azúcar de remolacha, legumbres, guisantes, judías y girasoles; con productos, entre otros, como Maxim XL® que asegura un rápido surgimiento de la planta, uniformidad del cultivo y máxima cosecha; pero esta empresa también produce el Dividend Spectro® que es un funguicida que sirve para controlar las enfermedades más importantes en cosechas, o insecticidas como Match® y Vertimec®, y herbicidas como Gesaprim®, AAtrox®, y Metolachlor®. En cuanto a las empresas químicas, es conocida la estrategia de compra de empresas de semillas por Monsanto que en 1996 compra Asgrow y en 1997 compra Deskalb, por ejemplo; como también lo es que su línea principal de negocio está en la producción de herbicidas como el Roundup®, e insecticidas como Ballyard® e Ingard® que protegen el algodón, como Yield® y Maisgard® que protegen el maíz, o como NewLeaf® que protege a las patatas. Aunque tenemos que decir también que esta empresa después de su fusión con Pharmacia & Upjohn ha entrado con fuerza en el mercado farmacéutico. Otra firma química, la Dow Chemical Company, que por cierto tiene una joint venture con una grande del sector, la Du Pont, y que también está en el negocio de las semillas a través de su compra de Mycogen, está relacionada con la agricultura a través de su sección Dow Agrosience LLC, sección que en

1999 obtuvo ventas por valor de 2,3 billones de dólares, lo que representó el 12% del total de la compañía. Esta firma lidera el mercado de biopesticidas basados en el *Bacillus thuringiensis*, y el de plantas resistentes a insectos; otras áreas en las que tiene actividad esta empresa son las de los genes de crecimiento de las plantas, las de los genes que le proporcionan resistencia a enfermedades, o la creación de plantas con un alto contenido en proteínas.

Las nuevas biotecnologías han supuesto: “La unificación de una amplia gama de industrias -farmacéutica, química, alimenticia, agraria- en un complejo bioindustrial.” (Wilkinson, 1992: 81). Lo que significa que en buena medida son ellas las que deciden sobre los aspectos vinculados con el control que hemos citado más arriba. Los únicos límites a dicho control son: los de la aceptación por parte de los consumidores de los países desarrollados de los productos agrícolas que surjan de estas nuevas biotecnologías; y la capacidad que tengan los habitantes de un país desarrollado, a través de sus Organizaciones No Gubernamentales (ONG), ecologistas y asociaciones de consumidores, sobre todo, para presionar con eficacia a sus respectivos gobiernos y parlamentos; y ello para que introduzcan regulaciones, más o menos restrictivas, en las actividades biotecnológicas. De hecho, el fin de la moratoria en el uso de productos transgénicos en la Unión Europea, aprobado por el Parlamento Europeo el 14 de febrero de 2001, vino acompañado, debido a la presión de la sociedad civil, de la obligación por parte de las empresas que comercializan OGM de asumir las responsabilidades de su uso; así como la eliminación de los transgénicos resistentes a antibióticos antes de 2004, y de los dedicados a la investigación antes de 2008. También se estableció, a través de normas legales que deben promulgarse, que se controlen los OGM desde su desarrollo en laboratorio hasta su empleo en productos derivados para el consumo; proveyéndose además la obligatoriedad de un etiquetado muy detallado en los artículos fabricados con este tipo de elementos.¹¹⁰

110 La obligatoriedad del etiquetado de aquellos productos considerados como transgénicos, y que están destinados al consumo humano, entró en vigor para los países de la Unión Europea el 19 de abril de 2004. Véase al respecto el Reglamento (CE) n° 1830/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003, relativo a la trazabilidad y al etiquetado de organismos

No creemos que en el desarrollo de estas nuevas biotecnologías los Organismos internacionales como la Food and Agriculture Organisation (FAO), o la Organización Mundial de la Salud (OMS) tengan suficiente poder coercitivo sobre las transnacionales para limitar su control de las nuevas biotecnologías agrícolas. Pero veamos cómo se inició y desarrolló el proceso que ha llevado al control de las nuevas tecnologías de la vida por parte de las transnacionales. Dicho desarrollo lo hemos dividido en etapas temporales. Sin embargo, debemos advertir que algunos de los rasgos que caracterizan a estas se encuentran en más de una etapa. Ello es debido a que esos rasgos, como es obvio, se van consolidando a lo largo del tiempo. Lo que hemos tenido en consideración a la hora de incluir aquéllos en una u otra etapa es el momento de su inicio.

Las nuevas biotecnologías en su nacimiento formaban parte de Programas de Investigación en Universidades y Organismos Públicos de Investigación; y sólo tenían interés desde un punto de vista científico, pero no empresarial. Para las empresas empezaron a ser interesantes a mediados de los 70; cuando algunas de las técnicas utilizadas por la biotecnología estuvieron maduras para obtener aplicaciones interesantes desde el punto de vista económico. Tal posibilidad fue vislumbrada claramente por Robert Swanson, un capitalista con visión de futuro, y Herbert Boyer (científico que contribuyó al desarrollo de técnicas de conexión de genes que permiten introducir ADN extraño en bacterias, y que planteó la posibilidad de utilizar éstas en la fabricación de proteínas) que en abril de 1976 fundaron Genetech, empresa que fue durante mucho tiempo bandera de las pequeñas empresas biotecnológicas intensivas en investigación.

En la primera etapa que consideramos, y que abarcaría desde la mitad de los años 70 hasta mediados de los 80, Estados Unidos, país pionero del traspaso de las nuevas biotecnologías de los laboratorios de investigación a las empresas, tuvo un modelo de desarrollo, en este campo totalmente diferente al modelo europeo. En efecto, mientras que en Estados Unidos se producía la creación de pequeñas

modificados genéticamente y a la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos, y por el que se modifica la Directiva 2001/18/CE.

empresas biotecnológicas, fruto de la colaboración de un científico muy vinculado a laboratorios universitarios donde se realizaba investigación, un administrador y la consecución de capital riesgo; en Europa lo predominante era que las grandes compañías aprovecharán, a través de contratos con estas pequeñas empresas estadounidenses, con universidades o con organismos públicos de investigación, mediante las informaciones preferenciales que les aportaba su inversión de dinero en estos laboratorios públicos y pequeñas empresas, los descubrimientos que los mismos realizaban.

Una segunda fase del modelo de desarrollo de las nuevas biotecnologías, con relación a su implantación en el mercado, la podemos situar a mediados de los 80, y abarcaría aproximadamente hasta mediados de los 90. Es durante esos años cuando las empresas transnacionales estadounidenses, al igual que sus homólogas europeas, empiezan a tomarse en serio estas nuevas tecnologías y a introducirlas dentro de sus programas estratégicos de futuro. Para ello diversifican sus estrategias de adquisición de las técnicas, en vistas a obtener ventajas sobre sus competidores. Esta segunda fase de desarrollo se caracterizó, en primer lugar, por la inversión cada vez mayor de las transnacionales, con intereses en las nuevas biotecnologías, en programas de investigación; y en la constitución de centros de biotecnología completamente nuevos, con excelente equipamiento y personal procedente de universidades u organismos públicos de investigación. Estos centros se dedicaron a realizar investigaciones para la propia empresa y fueron parte fundamental de sus intereses estratégicos. Ejemplo significativo de esto lo constituye el Centro de Ciencias de la Vida que, con un coste aproximado de 85 millones de dólares, construyó la transnacional, líder mundial en fabricación de pesticidas, Du Pont a mediados de los ochenta. Otro ejemplo, que también se produjo a mediados de los ochenta, es el de la transnacional alemana Bayer. Esta empresa, productora de pesticidas y medicamentos, inauguró en Ludwigshaven un centro de biotecnología valorado en 23 millones de dólares.

En segundo lugar, las transnacionales empezaron a adquirir pequeñas compañías biotecnológicas, hicieron inversiones en las mismas, o emprendieron colaboraciones con ellas. El objetivo de esta segunda estrategia fue que la excelente preparación que estas empresas tenían, en áreas concretas, fuera aprovechada y rentabilizada por la transnacional a través de su poder de penetración en el mercado; poder del que carecía la pequeña empresa biotecnológica, cuyos problemas más serios se inician, como es sabido, en el momento de comercializar el producto obtenido. No olvidemos que estas pequeñas empresas dedicadas a las nuevas biotecnologías, y que surgen casi exclusivamente en Estados Unidos, son intensivas en mano de obra cualificada, pero de financiación débil. Precisamente, es en el tramo de comercialización del producto donde se necesita una mayor inversión de capital. La inexperiencia en este terreno de las pequeñas empresas biotecnológicas y sus problemas de financiación, cuando el producto está listo para el mercado, han hecho que muchas de ellas se hayan decantado por dedicarse exclusivamente a la investigación contractual, cediendo los derechos de la comercialización de sus productos a las transnacionales. Lo cierto es que éstas han ido absorbiendo, con el tiempo, a las empresas más exitosas de este sector. De esta forma, por ejemplo, el gigante químico Lubrizol adquirió, en 1984, la empresa biotecnológica Agrigenetics por 110 millones de dólares.

Una tercera estrategia adoptada por las transnacionales, iniciada en la etapa que estamos comentando, y que a la larga les resultó extremadamente rentable, fue la de aumentar sus inversiones mediante contratos con las universidades y organismos públicos de investigación. A través de estos contratos la empresa que proporciona los fondos se garantiza: un acceso preferente a los resultados que se produzcan, interviene en las distintas fases que se dan en la investigación, y además decide qué se debe investigar. Aunque este proceder, claro está, crea un deterioro del principio de libertad académica y de elección, por parte de los científicos, de qué investigar. Además, crea precedentes de ocultación de resultados, por lo menos hasta la obtención de una aplicación patentable,

que distorsionan gravemente el clásico principio de publicidad, principio tan importante para el desarrollo de la propia ciencia. De esta forma:

La Monsanto <<donó>> 23,5 millones de dólares a la Universidad de Washington para investigación biotecnológica; la Bayer entregó fondos al Instituto Max Planck, en Koln, con el mismo propósito; y la Hoechst construyó enteramente un laboratorio de investigación biotecnológica de 70 millones de dólares para el Hospital General de Massachussets, donde también se realiza investigación sobre genética de cultivos. Lubrizol tiene más de 20 millones de dólares comprometidos en contratos de investigación con 18 Universidades y otras Instituciones públicas (Hobbelink, 1987: 138-139).

La tercera etapa se inicia a mediados de los 90; aunque tiene rasgos que permanecen de las etapas anteriores. Esta etapa se caracteriza por una clara y significativa concentración, en pocas transnacionales, de la capacidad de obtención y comercialización de productos agrícolas procedentes de las nuevas biotecnologías; lo que supone un control mayor de las mismas en un número reducido de decisores. No olvidemos que en el sector agrícola las fusiones y las adquisiciones de los últimos años han reducido rápidamente el número de empresas que dominan este sector, e incluso el de procesado de alimentos. Esta concentración se basa principalmente en la adquisición por parte de aquellas de empresas biotecnológicas especializadas. Así en 1995 Monsanto adquirió el 49,9% de Calgene por 30 millones de dólares. Recordemos que Calgene era la empresa líder en biotecnología destinada a la agricultura. Otros ejemplos son las compras del gigante de la química Dow Chemical Company de la empresa Micogen, empresa líder en biopesticidas basados en el *Bacillus Thuringiensis*, con más de 6,000 variedades del mismo, y 40 patentes; y la adquisición el año 2000 de Cargill Hybrid Seeds, sección de la empresa Cargill destinada a la elaboración y producción de semillas híbridas. También se basa en acuerdos entre las mismas transnacionales. Al respecto son significativas, por ejemplo: la fusión realizada

en el año 2000 de la empresa química Monsanto y la farmacéutica Pharmacia & Upjohn; la joint venture entre Dow Chemical Company con Dupont que tuvo lugar en 1998, ambas del sector químico; y la joint venture de Monsanto con Cargill que data de 1997.

2.2 Hacia el monopolio del sistema agroalimentario mundial

La expansión considerable que han experimentado los cultivos transgénicos es uno de los ejemplos más claros del proceso de monopolización del sistema agroalimentario mundial al que estamos asistiendo. Al respecto, ya en 1998 la estimación de porcentajes de la tierra cultivada con OGM en Estados Unidos era la siguiente: “26% of the corn, 43% of the cotton, 4% of the potato, and 26% of the soybean.”(Gianessi y Carpenter, 1999: 3). El número de hectáreas cultivadas en 1999 con plantas transgénicas en USA era de 28,7 millones, en Canadá de 4 millones, en Argentina de 6,7 millones, en China de 0,3 millones.¹¹¹ En cuanto a nuestro país:

España es el país de la Unión Europea que más relación tiene con los alimentos transgénicos. Es el primer importador de maíz modificado genéticamente y el que más cultiva: 20.000 hectáreas del maíz fabricado por la empresa transnacional Novartis, la única variedad permitida hasta ahora por el gobierno. También es el segundo de la UE en cantidad de soja transgénica importada (Iglesias, 1999).

Por otro lado, la superficie mundial de hectáreas plantadas con cultivos transgénicos pasó de 12,8 millones de hectáreas en 1997 a 39,9 millones, aproximadamente, en 1999. Como se ve un aumento considerable.¹¹² Además es importante la introducción en el mercado de productos alimenticios modificados genéticamente. Recordemos que:

111 Los datos proceden de The Royal Society of London, The U.S. National Academy of Sciences, The Brazilian Academy of Sciences, and The Mexican Academy of Sciences, *Transgenic Plants and World Agriculture*, National Academy Press, Washington D.C., Julio de 2000, p. iv.

112 Los datos fueron extraídos de <http://www.fao.org/Noticias/2000/000304-S.htm>.

The first effort at marketing a crop food modified through biotechnology occurred in the 1989, when Calgene Corporation initiated discussion with FDA regarding its Flavr Savr tomato, engineered to provide extended Shelf-life. In this case, the plant's own gene for production of an enzyme that naturally softens the fruit was disabled by inserting it "backwards (antisense) within the tomato genome. Approved by FDA in 1994 and well received by curious consumers, The Flavr Savr tomato was not a commercial success for reasons unrelated to the product. The British company Zeneca, however, achieved greater success marketing a genetically-modified tomato used in making tomato paste for sale in the United Kingdom (Smith, 2000: 15).

Recordemos también que cultivos como la soja, que interviene en la elaboración de múltiples productos alimenticios; o como el maíz, la patata, el arroz tienen variedades transgénicas que se han cultivado y comercializado en los mercados de alimentación.

El proceso que aquí estamos explicando es global. Ejemplo de esta globalización lo constituye, sin duda, la firma del protocolo de Cartagena sobre bioseguridad; protocolo que se firmó en Montreal el 29 de enero de 2000, y que a fecha de 9 de abril de 2002 ya había sido firmado por 110 países y ratificado por 20, y en cuya elaboración participaron 174 países. Otro aspecto importante relacionado con la globalización, y que no debemos olvidar, es que: algunos participantes están mejor posicionados que otros en cuanto su acceso a capital, conocimientos, tecnología de la que disponen y experiencia en la política científica, lo que les confiere una ventaja sustancial en el mercado global.

Las transnacionales de los sectores farmacéutico y químico, que ya habían liderado la “Revolución Verde”, son las que han jugado con mayor fuerza e interés en el campo de las nuevas biotecnologías aplicadas a la agricultura. En el mismo sentido:

Rural Advancement Foundation International (RAFI) has been monitoring alliances and mergers in the seed industry for two decades. Commercial plant breeding and seed sales are no longer the domain of small breeders and regional companies; they are now clearly dominated by agrochemical/ pharmaceutical companies (Pesticide Action Network, 1998).

Los motivos principales que han tenido las transnacionales de los sectores químicos y farmacéuticos para liderar la “revolución agrícola” basada en las nuevas biotecnologías han sido los de no perder las grandes cuotas de mercado de la agricultura mundial, que la “Revolución Verde” ya les había proporcionado, y ampliar las mismas a través de la actual “Revolución Agrícola” basada en las nuevas tecnologías de la vida. Nos encontramos así en un escenario en el que los principales productores mundiales de pesticidas son, al mismo tiempo, los principales productores de productos farmacéuticos o químicos, y a menudo encabezan también la producción de semillas; siendo además los mayores inversores en investigación y desarrollo de productos agrícolas basados en las nuevas biotecnologías. La tabla siguiente nos muestra las principales empresas transnacionales implicadas en este proceso.

Tabla 2. Las 10 empresas del mundo con mayores ingresos por productos biotecnológicos en billones de dolares (1997)

	Agroquímicos (pesticidas e insecticidas)	Semillas y fertilizantes	Alimentos procesados	Medicinas
Primera	Grupo Aventis (Francia) \$ 4,554	DuPont/Pioneer (EU) \$ 1,8	Nestle S.A. (Suiza) \$ 45,38	Aventis (Francia) \$ 13,75
Segunda	Novartis (Suiza) \$ 4,199	Monsanto (EU) \$ 1,8	Philip Morris (EU) \$ 31,89	Merek (EU) \$ 13,636
Tercera	MONSANTO (EU) \$ 3,126	Novartis (Suiza) \$ 0,928	Unilever PLC (UK) \$ 24,17	Glaxo Wellcome (UK) \$ 13,082
Cuarta	Zeneca/Astra (UK) \$ 2,674	Grupo Limagrain (Francia) \$ 0,686	ConAgra (EU) \$ 24,0	Novartis (Suiza) \$ 10,943
Quinta	Dupont (EU) \$ 2,518	Advanta (UK) \$ 0,437	Cargill (EU) \$ 21,0	Astra Zeneca (UK) \$ 10,0

Sexta	Bayer (Alemania) \$ 2,254	AgriBiotech (EU) \$ 0,425	Pepsi CO. (EU) \$ 18,86	Bristol-Myers (EU) \$ 9,725
Sétima	Dow Agro Science (EU) \$ 2,2	Grupo Pulsar (México) \$ 0,349	Coca-Cola Co. (EU) \$ 18,86	Pfizer (EU) 9,727
Octava	America Home Prod (EU) \$ 2,119	Sakata (Japón) \$0,349	Diageo (UK) \$ 18,77	American Home (EU) \$ 8,669
Novena	BASF (Alemania) \$ 1,855	KWS AG (Alemania) \$0,329	Grand Metropolitan (UK) \$ 14,0	Jonson&Johnson (EU) \$ 7,696
Décima	Sumimoto (Japón) \$ 0,701	Takii (Japón) \$ 0,3	Mars Inc. (EU) \$ 13,97	SmithKline B. (EU) 7,495
Total	26,2 billones \$	7,403 billones \$	232,95 billones \$	104,721 billones \$

FUENTE: <http://www.laneta.apc.org/pipermail/ciepac-e/2000-September/000043.html>

La tabla nos muestra la gran importancia de las empresas con mayores ingresos por productos biotecnológicos; las cuales en 1997 sumaron un ingreso de 373 274 billones de dólares, es decir algo más de la mitad del total de la deuda latinoamericana en el año 2000 que sumaba 750 billones de pesos. Pero la tabla también nos muestra la gran concentración por países de origen de éstas transnacionales: Estados Unidos tenía 19, Reino Unido 7, Suiza, 4, Francia, Alemania y Japón 3 cada uno, y México 1; siendo este el único país del llamado “Tercer Mundo” representado aquí. A esta concentración por países también hay que unir la gran concentración empresarial existente, incluso en distintos sectores. Así, el grupo Aventis ocupaba el primer lugar en agroquímicos y medicinas; Novartis el segundo en agroquímicos, el tercero en semillas y fertilizantes, y el cuarto en medicinas, Monsanto el tercero en agroquímicos y el segundo en semillas y fertilizantes, aunque decir que esta empresa entró también en el sector medicinas en el año 2000 con su fusión con Pharmacia & Upjohn; Zeneca/Astra el cuarto en agroquímicos y el quinto en medicinas, y Dupont el quinto en agroquímicos y el primero en semillas y fertilizantes. La tendencia a unir estos tres sectores en una misma línea de negocio es clara. En cuanto al sector de alimentos procesados todavía es testimonial la presencia de estas transnacionales con intereses en los agroquímicos, las semillas, los fertilizantes y los medicamentos; aunque sí tienen presencia en él. Así Novartis produce alimentos para bebés y deportistas; Astra Zeneca, a través de Marlow Food, está en la producción de alimentos alternativos; o Monsanto produce edulcorantes a través del Aspartama y fue la primera firma en obtener mayor volumen de leche de vaca a través de la BST.

Como señalamos en el apartado anterior es notable el proceso de globalización, concentración y tendencia hacia el monopolio del importante sector agrícola. No olvidemos, como nos lo recuerda Michael Hansen, que:

Los principales actores en el desarrollo de la ingeniería genética en la agricultura son las grandes compañías transnacionales. De hecho, las compañías involucradas son invariablemente productoras de plaguicidas. Existen cinco grandes compañías responsables virtualmente de la superficie cultivada en el ámbito global con cultivos transgénicos: Monsanto, Novartis (una fusión de Ciba Geigy y Sandoz), Astra Zeneca (fusión de la sueca Astra y la británica Zeneca –antigua Imperial Chemical Industries), Aventis (fusión de Rhone Poulenc y Hoechst, que ahora posee la empresa de biotecnología AgrEvo (Hansen, 2000: 7).

En este proceso de globalización juegan un papel importante las nuevas biotecnologías. Este proceso, como ya dijimos, afecta a la agricultura, pero también a lo que han llamado la “cadena de producción agro-industrial”. Esta cadena está formada, a grandes rasgos, por cuatro fases: la primera consiste en la producción y utilización de *inputs* agrícolas: semillas, fertilizantes, pesticidas y maquinaria agrícola; la segunda, en la producción agrícola, es decir, los cultivos en los campos; la tercera, en los procesos industriales que tienen por objeto la producción de comida a través de los productos agrícolas; la cuarta, en la distribución del productor al consumidor. Estas fases tienen su correlato en la llamada “cadena agroalimentaria” compuesta por los segmentos del mercado: producción, transformación primaria, productos semielaborados, productos elaborados.

El proceso se produce no sólo en cada fase individualizada, sino también entre fases. Por otra parte, una empresa como Unilever que es líder mundial en el procesado y comercialización de alimentos, sobre todo en aceites y grasas, posee miles de hectáreas de tierra en el “Tercer Mundo”, donde desarrolla nuevas variedades de semillas aceiteras aplicando biotecnologías actuales. En resumen: “La biotecnología tendrá un impacto en todos los diferentes sectores en los que la empresa está implicada. Eso aporta el medio para integrar las diferentes fases, y para aumentar su control sobre el sistema de producción agrícola mundial.” (Hobbelink, 1987: 142).

3. Repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo”

Buena parte de los llamados países del “Tercer Mundo” basan sus posibilidades de desarrollo en sus producciones agrícolas. Las nuevas biotecnologías van a incidir de una forma decisiva en la agricultura, y por tanto van a tener un gran impacto en la economía de estos países. Pero no solo en ellas, sino también, y de forma que aún no se vislumbra, en sus estructuras sociales e Instituciones.

En este apartado señalaremos algunos aspectos sobre las repercusiones que estas nuevas tecnologías de la vida aplicadas a la agricultura están teniendo en los países del “Tercer Mundo”. Para ello, empezaremos con una breve descripción sobre cuáles son estas nuevas biotecnologías aplicadas a la agricultura. Seguiremos después con tres subapartados sobre la incidencia de las mismas para los países de los que estamos hablando: la intercambiabilidad y sustituibilidad de productos; el cuestionamiento de que estas tecnologías impliquen una disminución de los inputs agrícolas, por ejemplo los fertilizantes y agroquímicos, que impuso en su momento la “Revolución Verde”; y por último el importante tema de los derechos de propiedad intelectual que marcará, en buena medida, el aprovechamiento que los países del “Tercer Mundo” puedan extraer de las nuevas biotecnologías.

3.1 Nuevas biotecnologías aplicadas en agricultura

Es en la agricultura donde las repercusiones de las nuevas biotecnologías se van hacer notar de una manera más dramática en los países del “Tercer Mundo”. Estas se basan fundamentalmente en la utilización de dos técnicas que han sido desarrolladas y perfeccionadas en las últimas décadas. La primera técnica a la que nos referimos es la de cultivo de tejidos, que se basa en el aislamiento de tejidos y células individuales, a fin de hacerlos crecer fuera de las plantas de las que proceden. Esto posibilita acelerar el trabajo de producción de plantas. Tanto es así que un cultivo de tejido de aproximadamente un centímetro cúbico puede contener un millón de células casi idénticas. Cada una de estas células puede

convertirse en una planta enteramente nueva. Si con las técnicas tradicionales el productor de plantas puede necesitar de una década y media o más, dependiendo del cultivo, para producir una nueva variedad; con la técnica del cultivo de tejidos este tiempo ha quedado reducido a pocos meses, o incluso semanas en algunos casos. Además, la técnica de cultivo de tejidos tiene la enorme ventaja de que hace posible evaluar el germoplasma, en una creciente masa de células cultivadas en laboratorio, sin tener que esperar a que la planta crezca. Lo que abre enormes posibilidades para la selección, y aislamiento de nuevas variedades con características potencialmente útiles.

La segunda técnica es la denominada ADN recombinante, también llamada ingeniería genética. Esta técnica, que tiene un alcance mayor que la que hemos visto anteriormente, permite al productor de plantas obtener las características deseadas de una célula a través del aislamiento del gen o genes que la expresan, e incorporarlas a otra. Si la característica deseada depende de varios genes el proceso es extremadamente complejo. Actualmente la recombinación monogenética es la que se está utilizando; la plurigenética está todavía en proceso de estudio, aunque no sería de extrañar, dada la rapidez con la que están avanzando los conocimientos en esta área, que en pocos años la recombinación plurigenética empezara a dar sus frutos.

Son los microorganismos capaces de aceptar genes ajenos, genes que les son insertados en su estructura genética, los que son utilizados como vectores en la transferencia. Saltan a la vista las enormes potencialidades, casi ilimitadas, de esta técnica para cambiar, sobre la base de combinaciones, las características genéticas de los seres vivos. Para el caso que nos ocupa, resultan de especial interés las múltiples posibilidades que se abren en el terreno de las aplicaciones obtención de productos agrícolas con características deseadas, obtención de plantas resistentes a condiciones ambientales y enfermedades, obtención de plantas que se puedan defender por ellas mismas de plagas de insectos o malas hierbas, obtención de plantas que sean resistentes a insecticidas y herbicidas

químicos, e incluso obtención de plantas que aprovechen mejor los nutrientes de la tierra, y por tanto necesiten menos fertilizantes, o de plantas que necesiten menos agua, menos sol. Las potencialidades que se abren, como dijimos, son muy grandes y dependerán en gran medida de la imaginación de los productores de plantas, de los límites de la propia técnica, y en último término de la aceptación social que tenga su utilización.

3.2 Intercambiabilidad y sustituibilidad de productos agrícolas

En el debate en torno a las repercusiones que tendrán las nuevas biotecnologías en la agricultura, y más concretamente en la economía y sociedad de los países del “Tercer Mundo”, es fundamental el tema de la ampliación en la intercambiabilidad y sustituibilidad de productos agrícolas que aquéllas proporcionan. Nos referimos aquí al hecho de que las nuevas tecnologías de la vida pueden traspasar características propias de plantas y animales, a otras plantas, y ello a través de su posibilidad de inserción de genes. Es el caso, por ejemplo, del “High Fructose Corn Syrup” (HFCS) que se extrae del maíz, pero también del trigo, las patatas o la mandioca mediante técnicas enzimáticas, y que se modifica de modo que resulte intercambiable con el azúcar. Este producto, dado sus costes de producción más económicos que el de otros productos edulcorantes, es un sustitutivo del azúcar de caña, y aspira a desbancarla en el mercado. Otros productos competidores que rebajan la cantidad de azúcar de caña demandado son: el *Aspartame*, producido por la Monsanto, que es 200 veces más dulce que el azúcar; el *Acefulsame-k*, producido por la Hoechst, que lo es 130 veces más; y el *Thaumatococcus*, producido por la Tate & Lyle conjuntamente con Unilever, que lo es 250 veces más. Este último producto tiene la peculiaridad de que se produce en una fábrica.

Las sustituciones en el mercado de los edulcorantes del azúcar procedente de la caña, que es intensivo en mano de obra en los países del “Tercer Mundo”, por productos sustitutivos, procedentes de la agricultura o incluso producidos en fábrica, procedentes de las nuevas biotecnologías suponen un serio revés para

las economías, como las del Caribe o Filipinas, que basan buena parte de sus expectativas económicas y de empleo en su producción.

El azúcar, por supuesto, no es el único producto que se ve afectado por esta sustitución entre productos. En efecto, en este mismo proceso se encuentran productos tan significativos para distintos países del “Tercer Mundo” como la manteca de cacao, tan importante para las economías de Brasil y Ghana, que procede de la planta del cacao; la codeína y opio, importantes para la economía de Turquía, procedentes de la amapola; la quina, importante para la economía de Indonesia, procedente de la chinchona. Por ejemplo, la Universidad de Cornell Hershey y la empresa Nestlé investigan desde mediados de los ochenta productos sustitutivos del cacao; la Plant Science Ltd. realiza investigaciones para sustituir a la amapola como productora de codeína y opio, y a la Chinchona como productora de quina, por sus propios productos obtenidos a través de las nuevas biotecnologías.

Otro ejemplo importante de esta sustituibilidad de productos es el de las proteínas para alimentar ganado. En la actualidad el mercado de las mismas, producidas mediante sojas, ya está seriamente amenazado por las *Single Cell Protein*; que basa su elaboración de proteínas en microorganismos genéticamente modificados, y en grandes tanques de fermentación. Las *Single Cell Protein* amenazan seriamente a productos tan importantes para la economía de Tailandia como: las harinas de pescado y la tapioca, que se utilizan en alimentación animal.

En definitiva: los edulcorantes, las proteínas, las féculas, los aceites vegetales, etcétera, procedentes de fuentes tradicionales, son cada vez más intercambiables por productos originados a través de la aplicación de las nuevas biotecnologías. Esto supone (teniendo en cuenta que aquí la intercambiabilidad de productos también implica la intercambiabilidad de productores, y que en muchos casos los nuevos productos sustitutivos son producidos en las fábricas de los países desarrollados, y no en los cultivos del “Tercer Mundo”) que las economías de estos países, basadas en buena parte en la producción de estos productos,

se vean seriamente afectadas. Por otro lado, es muy probable que esta nueva situación produzca una disminución del empleo; al ser la producción de aquéllos intensiva en mano de obra, y no disponer estos países de alternativas al empleo que proporcionan las explotaciones agrícolas del producto tradicional, que va siendo sustituido por la aplicación de las nuevas tecnologías de la vida. También es probable que la ya de por sí pobre renta *per cápita* de estos países disminuya todavía más. De hecho, esto ya ha ocurrido. Filipinas vio cómo sus ganancias por exportación de azúcar caían de 624 millones de dólares en 1980 a 246 millones en 1984. Esto tuvo como consecuencia que medio millón de trabajadores agrícolas perdieran su puesto de trabajo. El resultado fue que el nivel de vida en Filipinas, donde la mayoría de la población obtiene sus ingresos de la agricultura, disminuyó una quinta parte a mediados de los 80, respecto al que tenía a principios de esa misma década. También las nuevas biotecnologías, que principalmente están en manos de los países desarrollados, disminuyen el poder de negociación de los países del “Tercer Mundo” en la discusión de precios de las materias primas que producen. Por otra parte, el aumento de producción agrícola que se espera con estas nuevas tecnologías de la vida, y que sin duda es positivo para estos países, puede no ser suficiente para contrarrestar la bajada de precios que se puede producir por la existencia de productos sustitutivos, en buena parte fabricados por las transnacionales, originados por las mismas biotecnologías. En efecto:

En el marco del sector agroalimentario, los estudios sobre la proteína de organismos moleculares y la transformación enzimática de los hidratos de carbono como alternativa a los edulcorantes basados en el azúcar fomentaron esa concepción revolucionaria de las posibilidades de la biotecnología. La visión de unos sistemas alimenticios organizados en torno a una base proteínica totalmente nueva se combinó con la perspectiva de una ruptura en las corrientes comerciales agrícolas, que tendría importantes consecuencias para las relaciones Norte-Sur a medida que la sustitución entre los factores de producción agrícola se convirtiera en rutina (Wilkinson, 1992: 81-82).

3.3 ¿Son las nuevas biotecnologías una esperanza real para disminuir los *inputs* agroquímicos?

Una de las esperanzas en torno a las nuevas biotecnologías es que las mismas produzcan una disminución de los *inputs* agroquímicos vinculados con la “Revolución Verde”. Dicha esperanza se basa en su potencialidad para la creación de plantas más resistentes a los ataques de insectos y malas hierbas, y a la creación de plantas que absorban y rentabilicen mejor, en la propia tierra donde se cultivan, los fertilizantes existentes. La consecución de dichas plantas sería un gran paso para que los países en vías de desarrollo alcanzaran una agricultura que les permitiera alimentar a sus poblaciones a unos costes inferiores a los de la “Revolución Verde”, ya que estas plantas no necesitarían, o lo harían en menor cantidad, de pesticidas y fertilizantes. No cabe duda, que las potencialidades de las nuevas tecnologías de la vida destacadas en el párrafo anterior son de gran importancia para los países del “Tercer Mundo”. Sin embargo, no creemos que las mismas se lleven a cabo en un plazo corto o medio. En primer lugar, existen todavía dificultades de conocimiento y técnicas para la creación de plantas con las características señaladas; habiéndose llegado a éxitos en la inserción de genes individuales que expresan determinada característica. Es el caso, por ejemplo, de un tomate transgénico al que se le ha introducido un gen que hace posible su maduración más tardía, respecto a la del tomate no transgénico.

La obtención de estas plantas será un objetivo a largo plazo y su tiempo de realización dependerá, en buena medida, de los intereses de quienes controlen las nuevas biotecnologías en este sector. Este control resulta clave a la hora de examinar las prioridades de investigación que darán origen a las aplicaciones. Pues bien, como ya dijimos más arriba, las nuevas biotecnologías para la agricultura, están controladas, en gran medida, por las transnacionales vendedoras de semillas e *inputs* agroquímicos, vinculadas también, en la mayoría de los casos, a los sectores farmacéuticos y químicos. Ello es así porque:

Las inversiones en la industria de las semillas y la vuelta a las biotecnologías (son consideradas) como estrategia para defender los mercados químicos tradicionales, en particular, de herbicidas. Parece como si la competencia biotecnológica hubiera pasado a formar parte de una nueva estrategia basada en la protección sistemática de los cultivos, lo que no implica, sin embargo, una ruptura con los grupos industriales que dominan el sector. [Además] Los costes y las formas institucionales de la investigación y el desarrollo biotecnológicos constituyen en la actualidad el requisito previo competitivo para operar en el sector de los productos agrícolas. Por este motivo se está ejerciendo una presión considerable sobre los líderes tradicionales de la industria de las semillas, cuyo volumen de negocios es, como máximo, el 10% del de sus colegas químicos (Wilkinson, 1992: 87).

Ya hemos visto más arriba como esta presión terminó con la compra de las empresas de semillas, por parte de las empresas químicas, en el segundo lustro de la década de los 90. Cabe esperar, como de hecho así sucede, que las investigaciones sobre nuevas biotecnologías que las transnacionales vinculadas con la agricultura realicen (por ellas mismas, a través de contratos con empresas biotecnológicas, o Centros de Investigación situados en Universidades o en Organismos Públicos) se centren en la obtención de plantas más resistentes a los herbicidas e insecticidas que fabrican, y no en la costosa obtención de plantas más resistentes a insectos, malas hierbas, enfermedades, y adaptadas a suelos pobres o salinos, etcétera. La mejor estrategia para éstas transnacionales, y que es la que llevan a la práctica, consiste en el mantenimiento o aumento de los pesticidas y fertilizantes que venden; lo que consiguen mejor a través de la obtención de plantas que los resistan cada vez más, y no a través de la eliminación o reducción progresiva de la necesidad de éstos. Muestra de ello, como señala Michael Hansen, es que:

Desde el comienzo, la tolerancia a los herbicidas ha sido el rasgo de más rápido crecimiento, representando sólo el 23% de la superficie global cultivada en 1996, pero expandiéndose al 54% de esa superficie en 1997 y

al 71% en 1998. La resistencia a los insecticidas fue claramente la segunda, representando el 31% de la superficie global en 1997 y el 28% en 1998. La superficie creciente de cultivos resistentes a herbicidas que requieren el uso de productos plaguicidas patentados por las compañías demuestra con claridad que estas compañías están principalmente interesadas en sus propias ganancias y no en desarrollar una verdadera agricultura sostenible (Hansen, 2000: 8).

3.4 Derechos de la propiedad intelectual

No quisiéramos dejar pasar por alto un aspecto que consideramos de vital importancia a la hora de establecer las consecuencias de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo”. Nos referimos aquí al aspecto de cómo debe considerarse la propiedad intelectual de las “invenciones” que se realicen sobre las plantas. Este aspecto tiene el máximo interés, tanto para los que se muestran favorables a un desarrollo prácticamente ilimitado de las nuevas biotecnologías como para los que abogan por un control más estricto de las mismas.

De hecho, las invenciones efectuadas en plantas pueden acogerse a distintos regímenes legales de protección. Estas se aplican a distintos países según se adscriban, o no, al convenio correspondiente; o formen parte de un país o área de legislación conjunta, como en el caso de la Unión Europea. Así tenemos que se aplican en la actualidad, para países de la Unión Europea, el Reglamento (CE) n° 2100/94 relativo a la Protección Comunitaria de Obtenciones Vegetales, y la Directiva 98/44/CE, de 6 de julio de 1998, relativa a la Protección jurídica de las invenciones biotecnológicas, ambas comentadas más arriba. Para varios de estos países, al ser firmantes, también se aplican el Convenio para la Protección de las Obtenciones Vegetales (Convenio UPOV) y el Convenio de la Patente Europea. En Estados Unidos de América se aplica, conjuntamente al Convenio UPOV, su legislación propia recogida en: la *Plant Patent Act*, para plantas propagadas por medios vegetativos, exceptuando a los tubérculos, y su Régimen de Obtenciones Vegetales para Plantas de Reproducción Sexual. En este país se admite también

la posibilidad de patentar plantas desde la decisión adoptada en 1985, por vía de recurso administrativo, en el caso Hibberd.

La cuestión de si la materia viva que representan las plantas puede estar sujeta a protección es de vital importancia para los países del “Tercer Mundo”. En este sentido, no se debe olvidar que los sistemas de protección para la obtención de plantas presentan efectos negativos que se deben tener en cuenta. Así, por ejemplo: suponen un control cada vez mayor de las transnacionales sobre el sector de producción de variedades vegetales, aumentan la uniformidad genética de éstas, y no contribuyen prácticamente en nada al desarrollo de variedades de plantas cualitativamente distintas.

Existen diferencias importantes entre los Derechos de Obtentor para variedades vegetales que concede la Convención UPOV, el Reglamento (CE) n° 2100/94 relativo a la Protección Comunitaria de Obtenciones Vegetales, y la *Plant Patent Act* y el Régimen de Obtenciones Vegetales para Plantas de Reproducción Sexual respecto al Sistema de Patentes Industriales. Entre éstas, una de las más importantes es, sin duda, que los derechos de obtentor para variedades vegetales que conceden estos convenios y legislaciones suponen solo un derecho monopolista en la venta y comercialización de determinadas plantas, pero no protegen el germoplasma de la semilla, o el proceso por el cual se obtienen las nuevas plantas.

Para comprender de forma más clara y precisa el porqué la aplicación del Sistema de Patentes Industriales a las plantas tiene efectos negativos para los países del “Tercer Mundo”, que van más allá de los convenios y legislaciones que otorgan derechos de obtentor, debemos hacer una primera distinción entre los dos tipos principales de patentes: patentes de proceso y patentes de producto.

Las patentes de proceso protegen la propiedad de un determinado método tecnológico, lo que implica que el intercambio de tecnología para la producción de variedades queda restringido a los contratos de licencia suscritos entre los productores de variedades, por un lado, y el poseedor de la patente de proceso, por el otro. Esto supone un encarecimiento de la producción de plantas, al tener que

hacer frente el productor de variedades al pago de los royalties correspondientes por el uso del método tecnológico sujeto a patente. También supone un límite para el intercambio de tecnología entre Instituciones de investigación, por lo que se obstaculiza el progreso tecnológico. Finalmente, y en buena parte como consecuencia de lo anterior, este Sistema facilita una concentración y tendencia hacia el monopolio todavía mayor del sector agrícola.

Las patentes de producto tienen un impacto aún mayor que las patentes de proceso; ya que, por ejemplo, el propietario de la patente sobre un gen puede llegar a controlar todas las variedades vegetales en la que se incorporará “su gen”, e incluso podría impedir que los demás utilizaran este gen, de forma que este sólo sería introducido en sus propias variedades.

Teniendo en cuenta que la legislación adoptada y aplicada por los países desarrollados en materia de protección de obtenciones vegetales juega un papel decisivo en el control y concentración de la producción de variedades; no es de extrañar que, mientras las transnacionales del sector presionan fuertemente a favor de que las patentes sobre genes se extiendan a todas las variedades subsiguientes en la que se incorpore el gen patentado, los países del “Tercer Mundo” temen que esto llegue a suceder.

Otro aspecto importante, y de consecuencias negativas para los países en vías de desarrollo, es el que se refiere a la posibilidad de patentar variedades vegetales. Esta posibilidad de llevarse a la práctica supondría un paso nuevo, y creemos que decisivo, en la concentración y monopolio del sector agrícola en el ámbito mundial. Una patente sobre una variedad otorgaría a su obtentor la propiedad y el control completo sobre el germoplasma de esa variedad. Ello implicaría que los productores de variedades se verían privados de utilizar libremente las variedades patentadas; y no olvidemos, al respecto, que la utilización de las variedades de plantas existentes para la mejora de cultivos es de hecho, históricamente, la base misma de toda la producción de plantas. Esto supondría también la desaparición progresiva de las pequeñas e independientes empresas de semillas, y de los

productores tradicionales de variedades; que serían sustituidos por transnacionales, como las de origen químico, que desarrollarían las nuevas semillas y variedades conforme a sus intereses; intereses que se sitúan preferentemente en una mayor integración y venta del paquete de *inputs* que conforman las semillas, las nuevas variedades y los productos agroquímicos.

No menos importante es el hecho de que con la posibilidad de patentar variedades se rompe con el derecho ancestral del agricultor de utilizar para sus nuevas cosechas las semillas y plantas obtenidas en una cosecha anterior. También implica el fin de una práctica tradicional que ha sido de vital importancia para la mejora de plantas de cultivo, y que además está muy extendida entre los agricultores de todo el mundo. Nos referimos aquí a la entrega, intercambio o pequeña venta de semillas. Como nos lo recuerda Michael Hansen:

La compañía más agresiva a este respecto es claramente Monsanto. Cuando los agricultores compran soja RounUp Ready o algodón Bollgard deben firmar un contrato tecnológico legalmente obligatorio. Este contrato establece que los agricultores no deben guardar semillas para el replante y da a Monsanto permiso para ingresar en los campos del agricultor sin anunciarse durante un período de tres años después que el agricultor compra la semilla transgénica a Monsanto, para que el agricultor no esté “robando” la “propiedad intelectual” de Monsanto al ahorrar semilla para replante. Más aún, en el caso de la soja RounUp Ready y de la colza RoundUp Ready los agricultores solo pueden comprar *glisofato* (nombre de la marca RoundUp), es decir solo pueden comprar el pesticida a Monsanto (Hansen, 2000: 9).

Con todo, la consecuencia más negativa, y no tan solo para el “Tercer Mundo”, de la admisibilidad de patentar variedades sería la pérdida de diversidad genética. La cual se produciría fruto de la desaparición de las variedades tradicionales, y de la no mejora de las nuevas variedades a través de su libre utilización por parte del agricultor.

CAPÍTULO 6

La opinión pública de las nuevas biotecnologías: el caso español

1. La opinión pública de los españoles ante las nuevas biotecnologías

En este apartado consideraremos dos aspectos bien diferenciados. En el primero de ellos hacemos referencia a las dificultades que existen a la hora de definir lo que debe entenderse por “opinión pública”; en el segundo planteamos los perfiles de los españoles ante las nuevas biotecnologías, y de los participantes de nuestro país en los debates públicos y desarrollo de éstas. Estos perfiles son el resultado de cuatro estudios de opinión que se realizaron en nuestro país, en la década de los noventa, sobre estas nuevas tecnologías de la vida.

El primer estudio, al que nos referimos en el párrafo anterior, fue el de Luis Moreno, Louis Lemkow y Ángeles Lizón, publicado en 1992, que llevó por título: *Biotecnología y sociedad. Percepción y actitudes públicas*. Fue publicado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Este estudio aunó metodologías cualitativas (grupos de discusión y talleres de trabajo) con cuantitativas (realización de una encuesta, y análisis estadístico de los datos que con ella se obtuvieron).

El segundo estudio que utilizamos fue llevado a término en España por los doctores Louis Lemkow y Ángeles Lizón, entre 1994 y 1995, y se dirigía a encontrar los motivos que había detrás de las diferencias, observadas en Eurobarómetros previos, de opinión entre los habitantes de los países del norte y los del sur, todos ellos de la Unión Europea. Este estudio formó parte

de la investigación financiada por la Comisión de las Comunidades Europeas (Contrato BIO2-CT93-603), que dirigió Fabio Terragni, y cuyo título fue: *The public debate on biotechnology in Southern European Countries*. En el mismo participaron cuatro países: España, Italia, Grecia y Portugal. Nosotros nos hemos limitado aquí a analizar los resultados que se obtuvieron en España a través de las entrevistas realizadas.

El tercer estudio que tenemos en cuenta fue realizado por Julián Atienza y José Luis Luján, se publicó en 1997, y lleva el título de: *La imagen social de las nuevas biotecnologías en España*. Su publicación corrió a cargo del Centro de Investigaciones Sociológicas. El método elegido en este estudio fue el de la encuesta, y el posterior análisis de los datos obtenidos.

El último estudio que nos sirve de base para realizar los perfiles mencionados más arriba lo realizó la *International Research Associates* (INRA (EUROPE) ECOSA), fue publicado en marzo de 2000 por la Oficina de Publicaciones de la Comisión de las Comunidades Europeas, lleva por título: *The Europeans and biotechnology*, y se basó en los resultados obtenidos en el Eurobarómetro 52.1, que utiliza la encuesta como técnica de investigación social, y la estadística como técnica para analizar los datos por ella obtenidos.

1.1 Algunas dificultades de definición

Las ciencias sociales tienen dificultades, la sociología no escapa a ellas, a la hora de llegar a un acuerdo sobre qué debe entenderse por “opinión pública”. Las ciencias de la vida tampoco lo tienen fácil a la hora de ponerse de acuerdo en cómo definir a las “nuevas biotecnologías”.

Uno de los problemas centrales a la hora de hablar de opinión pública es establecer el valor de las distintas opiniones que la conforman. La opinión dada puede atender, por ejemplo, a las creencias o razones de adscripción discursiva, e incluso institucional, del que opina. Éstas pueden no tener nada en común, o poco, con el tema por el cual se pregunta. ¿Cómo debemos valorar este tipo de

opinión? ¿Qué peso deben tener? Pero, también, la opinión puede basarse en las mejores razones que la información y el conocimiento pueden ofrecer en un momento dado. ¿Deben estas opiniones tener un valor mayor que las anteriores? Lo que nos lleva a preguntarnos: ¿debemos, atendiendo al modelo clásico estimar que todas las opiniones expresadas valen lo mismo, o por el contrario, existen diferencias de valor en ellas? Lo primero es más democrático, sin duda, pero no resuelve el problema de cómo se distribuye socialmente el valor las opiniones, ni tampoco el cómo se deben tratar diferencialmente las opiniones razonadas y las no razonadas. Tampoco resuelve, lejos de ello lo oculta, el cómo tratar una realidad social que no está compuesta por solo un público, sino por varios públicos que tienen, por ejemplo, diferentes grados de información, conocimiento, interés, creencias sobre estas tecnologías de la vida. Por último, no recoge un aspecto tan importante como el que se desprende del hecho de que en la formación y expresión de la opinión pública existen forjadores, cuyas opiniones son reconocidas como propias por sus seguidores. Se trata de líderes de opinión que están en posición de prestigio e influencia respecto a otros. Estos otros siguen las opiniones de estos líderes y las asumen como propias.

Si consideramos el valor desigual de las opiniones nos encontramos ante la dificultad de elegir los criterios que utilizaremos para valorar más unas opiniones que otras. Lo que no resulta fácil, puesto que las opiniones pueden estar basadas en principios que tienen la misma validez, e incluso la misma legitimidad social, aunque den como resultado opiniones antagónicas y encontradas.

Los estudios que nos han servido de base para realizar los perfiles de opinión de los españoles ante las nuevas biotecnologías resuelven de distinto modo los problemas mencionados en el párrafo anterior: aluden a la formación y, sobre todo, al conocimiento objetivo de los entrevistados, y realizan diferenciaciones entre las opiniones sobre la base del grado expresado de ellos en cada opinión, también la información y el interés son abordados. Sin embargo, el problema de cómo tratar a los formadores de opinión persiste, y solo es tratado coherentemente

por el segundo estudio que hemos mencionado. El resto de estudios, aunque sí presentan desigualdades de opinión según criterios determinados, no pesan el valor de las mismas por la posición de liderazgo de opinión que los distintos entrevistados tienen en la sociedad. El peso de éstos y sus opiniones se escapa a la labor de estos estudios. En última instancia proceder de esta forma, es decir igualando los pesos de todas las opiniones dadas, pero al tiempo indicando las diferencias entre distintos grupos sobre la base de variables como: la información, el interés, la participación y el conocimiento puede servir en el plano de las decisiones políticas, e incluso llegar a legitimarlas, pero no puede, porque no nos da cuenta de ello, producir un diálogo entre las mejores razones que nos permitan actuar en direcciones concretas. Y es que estos estudios siguen basándose en un modelo de opinión plebiscitario e igualitario que tiene las siguientes características principales, como nos lo recuerda Stein Rokkan:

El modelo subyacente de público era plebiscitario e igualitario. Los investigadores de la opinión partieron de la premisa básica de la democracia de sufragio universal: <<un ciudadano, un voto, un valor>>. Igualaron los votos con las expresiones de la opinión, y dieron el mismo valor numérico a cada una de tales expresiones (...) La suma total de expresiones era presentada como una estimación de la <<opinión pública>> acerca de la cuestión que se tratase (Rokkan, 1966: 16, citado por Beltrán, 1998: 38).

1.2 El perfil medio de los españoles ante las nuevas biotecnologías

El perfil que presentamos a continuación no es algo definitivo e inmutable, sino que puede evolucionar con el tiempo, e incluso cambiar del todo. Por otra parte, las características que aquí incluimos, que son las mismas que se mencionan en los distintos estudios, no incluyen todas las posibles, por lo que sin duda el lector puede encontrar a faltar algunas consideradas por él importantes; también puede este, cómo no, encontrar que otras de las presentes no merecerían formar parte del perfil medio que aquí presentamos. Sea una cosa, sea otra, sea que nuestro amable

y paciente lector nos da la razón, y considera un acierto las características que hemos elegido y los contenidos con los que las dotamos, no debemos olvidar que las tierras donde nos movemos son movedizas, y lo que es válido para un período de tiempo determinado señalado puede no serlo en otro.

El conocimiento sobre las nuevas biotecnologías es algo que en todos los estudios que hemos visto se considera como un factor importante a la hora de diferenciar opiniones, e incluso para determinar el grado de su penetración en la sociedad. Pues bien, el conocimiento que tienen los españoles de las nuevas biotecnologías es muy bajo, el más bajo de los habitantes de la Unión Europea, aunque éstas han sido incorporadas a su horizonte de expectativas, y algunas de sus aplicaciones concretas les son conocidas. Respecto a la información, decir que los españoles solo muestran tenerla de conceptos genéricos, teniendo poca sobre los avances de la biotecnología, aunque sí de sus aplicaciones. Ello se encuentra en contradicción, o al menos nosotros lo entendemos así, con el gran interés que muestran por estas nuevas tecnologías de la vida. Quizá la causa tengamos que buscarla en la crítica que ya a principios de los noventa realizaba el sociólogo Louis Lemkow:

Las recientes investigaciones de las ciencias sociales indican que la población no está bien informada y carece de un conocimiento detallado sobre las nuevas biotecnologías y sus aplicaciones específicas [que es precisamente lo que señalan los datos que hemos examinado]. Esta conclusión representa una sobresimplificación de una situación mucho más compleja y puede deberse (...): a la confusión en cuanto a las definiciones y al hecho de que en algunas encuestas los cuestionarios sean demasiado generales (Lemkow, 1993: 11).

Los españoles son los que más aceptan las aplicaciones de las nuevas biotecnologías de los habitantes de la Unión Europea; siendo su percepción muy positiva respecto a las mismas y el impacto social que tendrán, lo que no

deja de estar un tanto en contradicción con la resistencia ética y el temor que algunas de las más importantes provocan: la manipulación genética de células humanas o embriones, aunque sea con fines investigativos, solo admitiéndose la realizada con fines terapéuticos para el propio embrión o enfermo. En general, los españoles aceptan las aplicaciones biotecnológicas destinadas a la salud humana, al medio ambiente y la agricultura; y rechazan las relacionadas con la producción de alimentos y la eugenesia. Otro aspecto a destacar es la distinta consideración que tienen de la investigación básica, a la que apoyan sin restricciones, y de las aplicaciones industriales, a las que temen.

Pese a la gran aceptación de las nuevas biotecnologías, señaladas en el párrafo anterior, los españoles demandan que éstas sean controladas para evitar las consecuencias negativas que puedan tener. En este sentido ya en los grupos de discusión del estudio de 1989 mencionaban que dicho control debería servir para: no permitir la experimentación que no tuviera como finalidad la prevención y tratamiento de enfermedades, asegurar la privacidad de la información genética propia de cada individuo, permitir la preservación de la variedad genética humana y la integridad física de las personas, dar garantía sobre la igualdad de acceso a los nuevos usos médicos procedentes de las nuevas biotecnologías. En cuanto a cómo debe llevarse este control piensan que el camino adecuado es el de crear normativas que regulen las aplicaciones de estas nuevas tecnologías de la vida, aunque nada manifiestan sobre el contenido de éstas, y nada saben sobre las existentes. Además, rechazan para ejercer dicho control a los agentes más directamente involucrados en su desarrollo: industria, científicos, y Administración Pública. No manifestando, tampoco, qué institución debe ser la que controle las nuevas biotecnologías, y quién debe formar parte de la misma.

Los españoles también reclaman más participación social en las decisiones que se tomen sobre éstas, aunque no tienen una idea clara de que mecanismos deben articularse para canalizarla, y sean pesimistas respecto a que ella sea posible, o de conseguirse que sea eficaz para impedir las consecuencias negativas que

pueden derivarse de las aplicaciones de estas tecnologías. Los españoles perciben el riesgo de las nuevas biotecnologías, teniendo al respecto una posición realista en las que éstos van unidos a sus grandes beneficios; creyendo, en general, que estos últimos serán mayores que los primeros. En todo caso, opinan que se debe examinar el riesgo caso por caso, que debe haber participación social para su control, y que la normativa que se cree debe ser eficaz para prevenirlos, siendo estos tres aspectos básicos para que acepten estas nuevas tecnologías de la vida.

Los españoles no tienen muy claro quien debe decidir los desarrollos que se hagan de estas. Si bien en el estudio de 1996 que hemos comentado¹¹³ se manifestaban a favor de los científicos y la sociedad civil, aunque en menor medida que aquéllos; los grupos de discusión de 1989 dieron otros resultados, quizá porque en ellos se profundizó más sobre este tema, en los que los científicos eran rechazados como decisores de dichos desarrollos dada su vinculación interesada en los mismos. En estos grupos se optaba por dar esta responsabilidad a organismos independientes, en los que la participación de la sociedad civil se consideraba importante. Eso sí, no manifestaron nada sobre la composición de los mismos y sobre cómo éstos debían funcionar.

En general, los agentes en quienes confían los españoles como fuentes de información y formación de opinión son: los ecologistas, las ONG y movimientos sociales, las Organizaciones de consumidores, y la comunidad científica, solo confiando en la iglesia los creyentes; y confían poco o nada en: los medios de comunicación de masas, la administración pública, los partidos políticos y la industria.

Los españoles desconocen las iniciativas públicas y privadas que se realizan en torno a las nuevas biotecnologías en España, lo cual redundo en preocupación respecto a la dependencia de nuestro país de las multinacionales que las desarrollan. En cuanto a las variables sociodemográficas, el nivel de estudios demuestra ser la variable más importante, siendo que a mayor nivel de éstos, mayor aceptación

113 Nos referimos aquí al realizado por Julián Atienza y José Luis Luján.

de las nuevas biotecnologías (de este grupo son también los sectores más críticos de éstas); aunque la misma tendencia se da respecto: a mayores ingresos, a mayor conocimiento, a grupos de edades más jóvenes y cuando el sexo es varón. Las creencias religiosas no resultan ser discriminatorias; creyentes y no creyentes rechazan o aceptan estas tecnologías por igual, aunque sobre la base de razones distintas.

1.3 El perfil medio del participante español en el desarrollo y debate de las nuevas biotecnologías

La población aquí incluida tiene conocimiento sobre las nuevas biotecnologías, tanto teórico como aplicativo, y está vinculada de una forma u otra a las mismas. También se caracteriza por ser una población cuya opinión es institucionalizada, es decir se basa en los juicios asumidos por los grupos a los cuales se pertenece. De ahí que surjan, cuando se contraponen las opiniones directamente, como es en el caso de los grupos de discusión, posiciones bipolarizadas e irreconciliables. Tres son las posiciones que se detectan: la primera, que es crítica respecto a los desarrollos que se efectúan en torno a las nuevas biotecnologías, está sostenida por los grupos ecologistas, y las ONG y movimientos sociales; la segunda, que es de apoyo a las mismas, es la que mantienen los científicos, la administración pública, y la industria; la tercera es una posición intermedia en la que se hacen distinciones entre aplicaciones a potenciar, aplicaciones a rechazar, y en la que destaca el control reclamado para cada una de ellas. Esta posición es apoyada por los consumidores, los medios de comunicación y la Iglesia.

1.3.1 Posición crítica

La posición crítica viene caracterizada por ser optimista frente a la investigación básica y reticente frente a las aplicaciones, sobre todo cuando éstas son industriales. Éstas despiertan temor, ya que alteran drásticamente las condiciones iniciales a las que se sujeta el control experimental; lo que viene a significar, en la práctica,

una ampliación de escala que implica nuevos riesgos que son desconocidos y el aumento de que existan malos usos, voluntarios o no, de estas tecnologías, o incluso fallos que provoquen accidentes no previstos con consecuencias inciertas. Estos usos industriales de las nuevas biotecnologías despiertan en ecologistas y ONG y movimientos sociales temor; y ello porque existe una gran incertidumbre sobre los costes ecológicos y los impactos sobre la salud que tendrán, dada la imposibilidad de contar con evidencias científicas que puedan anticipar sus consecuencias no queridas. Según este grupo es preocupante que estas nuevas tecnologías de la vida den el salto de los laboratorios a la producción industrial, máxime cuando la información disponible sobre el riesgo y el impacto de las mismas es tan exigua. Es por ello que demandan que la investigación sobre nuevas biotecnologías y sus aplicaciones industriales sean realizadas con cautela, la elaboración de normativas específicas que minimicen los riesgos de éstas, el establecimiento de controles rigurosos teniendo en cuenta las diversas aplicaciones y los ambientes en los que éstas se llevan a cabo, la realización de un seguimiento de todo el proceso en los que existan manipulaciones genéticas, el incentivo de la ciencia básica a fin de que ésta nos dé las respuestas que necesitamos en torno a los problemas que estas nuevas tecnologías de la vida plantean, tanto en laboratorios como principalmente en su uso industrial, el establecimiento de políticas informativas y transparentes sobre ellas para un público no informado, la creación en torno a las mismas de ámbitos de debate y participación democrática, la participación de la sociedad civil en el control de sus aplicaciones industriales, la evaluación social de éstas.

Estas demandas no implicaron, por lo menos así lo demostraron las entrevistas de 1994, que este grupo estuviera informado sobre la normativa y las instituciones existentes para controlar estas tecnologías de la vida; como tampoco lo estaba sobre las iniciativas públicas y privadas para desarrollarlas; y como tampoco parecía estarlo, o al menos no hacen mención expresa de ello, de los estudios que ya entonces se habían realizado, o se estaban realizando, en torno a los riesgos derivados de las mismas. Este grupo considera que es un derecho disponer de

información sobre: los desarrollos de estas tecnologías, sus usos industriales, los riesgos que las mismas conllevan, y las consecuencias no queridas que de ellas pueden derivarse.

También consideran que es un deber la participación social en la evaluación del riesgo de estas biotecnologías, y el control público sobre los criterios y procedimientos de aplicación de éstas, control que no debe dejarse exclusivamente en manos de las empresas, los científicos, y ni siquiera de la Administración Pública. Es por ello que reclaman una relación de fuerte interdependencia entre las instituciones científico-técnicas y las instituciones de control social, y que consideran fundamental la participación de los sectores afectados por estas tecnologías; y ello a fin de equilibrar aceptablemente los intereses, muchas veces contrapuestos, que están en ellas. No olvidemos, como indica Dorothy Nelkin, que: *“Technical expertise is a crucial political resource in conflicts over science and technology. For access to knowledge and the resulting ability to question the data used to legitimate decisions is an essential basis of power and influence.”* (Nelkin, 1992: 16).

Tres son, como veíamos en el párrafo anterior, los pilares que este grupo considera fundamentales para un buen desarrollo de la biotecnología: la interdependencia de las instituciones científicas y técnicas con las instituciones de control social, la participación social en la evaluación y control de ésta, y la información clara y veraz sobre ella. Estos tres pilares son fundamentales para que estas tecnologías de la vida obtengan el respaldo y legitimación social que necesitan para su desarrollo y aplicación industrial. Su opinión es que ninguno de estos tres pilares es mínimamente sólido en nuestro país: donde no se da la interdependencia solicitada; la participación social en la evaluación y control de las nuevas biotecnologías es escasa, cuando no nula; y la información que sobre ellas se da, sobre todo la que llega al gran público a través de los medios de comunicación de masas, es claramente insuficiente, pobre y valorativa, y la que llega a través de científicos, administración pública y empresas, es escasa e interesada.

1.3.2 Posición desarrollista

La posición desarrollista se caracteriza por ser acrítica frente a las posibles consecuencias negativas de las nuevas biotecnologías. En esta posición se sostiene que las mismas generarán grandes beneficios y que su desarrollo no comporta riesgos; ni siquiera el traspaso de ellas de los laboratorios a las empresas los tiene, puesto que los controles de aquéllos son plenamente válidos en éstas. Lo que es justamente lo contrario de la afirmación de Sheldon Krinsky: *“The consensus on the safety of laboratory work was not transferable to the commercial uses of rDNA technology.”* (Krinsky, 1992: 273) En todo caso, para los que apoyan esta posición, no hay indicios reales de que estas hayan tenido consecuencias negativas. Los temores que algunos tienen en torno a ellas son, por tanto, totalmente infundados y se basan más en miedos irracionales que en evidencias científicas. Existe una gran eficacia experimental, y el desarrollo técnico logrado es suficiente para prevenir cualquier eventualidad que pueda surgir, incluso cuando las aplicaciones dejan el laboratorio para realizarse en la empresa. Es decir, los protocolos de seguridad del primero son plenamente aplicables en la segunda, y la ampliación de escala no supone nada nuevo que desmienta esto. Ya vimos, al tratar sobre la percepción del riesgo, como los expertos consultados no opinaban de esta forma. Para ellos la ampliación de escala cambiaba drásticamente las condiciones de seguridad de los laboratorios, ya que introducía nuevas variables que no podían ser controladas.

Este grupo rechaza la participación democrática en la evaluación y control de las nuevas biotecnologías, puesto que supondrían un peso difícilmente compatible con el desarrollo de estas tecnologías de la vida, en donde tanta es la competencia por alcanzar productos rentables. Por otra parte, tampoco creen que el público deba participar en el debate público sobre estas tecnologías. Este grupo se queja de la manipulación informativa que hacen los medios de comunicación de masas sobre las mismas, piensan que éstos informan de forma oportunista, sensacionalista, trivializan y tergiversan los contenidos, y se basan solo en los aspectos más

llamativos y negativos de éstas; y que las críticas que se realizan en torno a su actividad se deben a esta manipulación informativa y tergiversación de los hechos, también llevada a cabo por el grupo crítico, y a la mucha desinformación que existe sobre el trabajo real que realizan y sobre los controles que sobre él aplican. Decir también que solo los talleres de trabajo han permitido caracterizar este perfil. Únicamente enfrentando este grupo a otras opiniones expresa realmente cual es su posición. En las entrevistas realizadas en 1994 la posición de este grupo es bastante más difuminada, cuando no inexpresada; encontrándonos en ellas, en muchos de los temas que más directamente les afectan, con silencios que en los talleres de trabajo adquieren significado en forma de déficit democrático y rechazo corporativo de las opiniones contrarias a las propias; lo que ocurre, sobre todo, en los grupos de la Administración y de la Industria, y menos en el de Científicos.

1.3.3 Posición intermedia

La posición intermedia se caracteriza por estar en medio de las posición crítica y desarrollista que hemos comentado con anterioridad. En esta posición existe aceptación de las aplicaciones biotecnológicas, incluso las industriales, siempre y cuando se establezcan controles sobre ellas; aunque los miembros de los grupos que la componen no mencionan como: deben ser los mismos, quien debe formar parte de las instituciones controladoras, como se deben articular éstas, y que aplicaciones deben estar sometidas a ellos.

En realidad, esta posición es muy ambigua, y se caracteriza más por ser emotiva, y en algunos casos de creencia, que racional. En ella existe temor, por una parte, ante las consecuencias negativas de estas nuevas tecnologías de la vida, aunque un temor bastante difuso y poco concreto; y por otra parte existe optimismo respecto a los beneficios que éstas conllevarán. Este grupo demandó que se establecieran regulaciones sobre las nuevas biotecnologías, aunque no

especificó nada respecto sobre como deberían ser éstas, y nada parecían saber sobre las existentes.

También pidió, coincidiendo con ello con el grupo crítico, que la información que se diera respecto a ellas fuera: accesible, clara, divulgativa, plural, veraz y objetiva. Excepto el grupo medios de comunicación, el resto de este grupo pensaba que los medios de comunicación de masas atienden más a su cuota de audiencia que a divulgar informaciones veraces e inteligibles, que priorizan más los aspectos impactantes que los relevantes, y que explotan los sentimientos del público para vender más, siendo por tanto más valorativos que informativos. En esto coincidieron con el sector crítico y el sector desarrollista.

Los medios de comunicación adoptaron una posición defensiva, y lejos de encajar las críticas optaron por quejarse de las dificultades que encontraban en su trabajo: inaccesibilidad a muchas de las fuentes informativas, falta de colaboración de los investigadores que realizan las investigaciones, sobre todo las aplicadas, resistencia y falta de transparencia de las empresas vinculadas con la biotecnología, falta de profesionales especializados en divulgación científica y tecnológica, desinterés del público sobre estos temas, desinterés de las empresas por contratar espacios para su divulgación, y desinterés de la administración pública por realizar políticas informativas sobre ellos. Los grupos que forman la posición intermedia ponen su confianza en la información y formación de opinión que realizan los ecologistas, las ONG y movimientos sociales.

Por último, no reclaman, o al menos no lo hacen con la intensidad y articulación que lo hacen los grupos que forman la posición crítica, la participación social en el debate, control y regulación de las nuevas biotecnologías; y ello aunque el grupo iglesia pida cierta participación de la iglesia en los aspectos éticos que derivan de sus aplicaciones, pero sin concretar en qué sentido debe establecerse ésta.

Bibliografía

- AGAZZI, E. (1996). *El bien, el mal y la ciencia: las dimensiones éticas de la empresa científico-tecnológica*, Madrid, ed. Tecnos.
- AGUILAR, F. (1990). “La lógica de la cooperación”, *Zona Abierta*, nº 54/55, pp. 7-41.
- ÁLVAREZ, S. (1995). “Racionalidad y método científico”; en L. Olivé (ed.), *Racionalidad epistémica*, Madrid, ed. Trotta, pp. 147-169.
- ARROW, K. (1971). *Essays in the Theory of Risk-Making*, Amsterdam-London, ed. North Holland Publishing.
- ATIENZA, J., y Luján, L. (1997). *La imagen social de las nuevas biotecnologías en España*, Madrid, ed. Centro de Investigaciones Sociológicas.
- BACON, F. (1988). *La nueva Atlántida*, Barcelona, ed. Mondadori (edición original de 1627).
- BARRETT, W. (1978). *The illusion of technique*, New York, ed. Anchor.
- BECK, U. (2001). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva racionalidad*, Barcelona, ed. Paidós (edición original de 1986).
- BELTRÁN, M. (1998). “Cinco vías de acceso a la realidad social”; en M. García Ferrando, J. Ibáñez y F. Alvira (eds.), *El análisis de la realidad social. Métodos y técnicas de investigación*, Madrid, ed. Alianza Universidad (edición original de 1986), pp. 19-49.
- BENBROOK, C. (1999). “Evidence of the magnitude and consequences of the Roundup Ready Soybean Yield drag from University based varietal trials in 1998”, *Paper nº 1 Sandpoint Idaho*, <http://www.biotech-infonet.com/RR.yield-drag-98.pdf>.
- BERGELSON, J., PURRINGTON, C.B., y WICHMANN, G. (1998). “Promiscuity in transgenic plants”, *Nature*, 395 (6697), p.25.
- BILBENY, N. (1992). *Aproximación a la ética*, Barcelona, ed. Ariel.
- BIRCH, A. N. E., et al. (1997). “Interactions between plant resistance genes, pest aphid populations and beneficial predators”, *1996/1997 Scottish Crop*

- Research Institute Annual Report*, Invergowrie, Dundee, Scotland, pp. 66-72.
- BUCHANAN, A. (1996). "Choosing who will be disabled: genetic intervention and the morality of inclusion", *Social Philosophy & Policy*, vol. 13, n° 2, pp. 18-46.
- CARBONERO, P. (1994). "La biotecnología y su aplicación en la agricultura"; en J. López y A. Modrego (eds.), *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Madrid, ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, pp. 159-167.
- CIURO, M. A. (1996). "Aspectos jurídicos de la procreación asistida", *Bioética y bioderecho*, n° 1, pp. 11-16.
- COOMBS, J. (1989). *Diccionario de biotecnología*, Barcelona, ed. Labor (edición original de 1986).
- DARWIN, Ch. (1974). *El origen de las especies*, 2 vols., Barcelona, ed. Petronio (edición original de 1859).
- DE LORENZO, V. (1994). "Biotecnología medioambiental: nuevos abordajes biológicos al problema de los residuos industriales"; en J. López y A. Modrego, *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Madrid, ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, pp. 123-130.
- DENTZER, S. (1999). "Gene Therapy", *Online News Hour*, http://www.pbs.org/news_hour/bb/health/july-dec99/genetherapy.htm.
- DERWENT BIOTECHNOLOGY, <http://www.derwent.com/dwpireference/index.html>.
- DÍAZ, V., Muñoz, E., y Espinosa J. (2001). "La empresa biotecnológica en España: un primer mapa de un sector innovador", *Documento de trabajo 01-01 del Grupo Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- DODET, B. (1995). "El nacimiento de un nuevo producto comercial: el DNA medicamento", *Mundo Científico*, vol. 15, n° 153, pp. 14-16.
- DOMÍNGUEZ, J. B. (1994). "Industrias alimentarias y biotecnología"; en J. López y A. Modrego (eds.), *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Madrid, ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, pp. 169-185.
- DOUGLAS, M., y WILDAVSKY, A. (1982). *Risk and Culture: an Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers*, Berkeley, ed. University of

- California Press.
- DWORKIN, R. M. (1994). *El dominio de la vida: una discusión acerca del aborto, la eutanasia y la libertad individual*, Barcelona, ed. Ariel (edición original de 1993).
- EL PAÍS (1998). “El laboratorio que creó a ‘Dolly’ se propone clonar cerdos para trasplantes”, 19 de noviembre, <http://www.elpais.es>.
- _____ (2001). “Los expertos temen que el plan para clonar niños obstruya los cultivos celulares para trasplantes”, 29 de enero, <http://www.elpais.es>.
- _____ (2001). “El análisis del genoma confirma que el ser humano solo tiene unos 30000 genes”, 12 de febrero, <http://www.elpais.es>.
- ELSTER, J. (1990). *El cambio tecnológico. Investigación sobre la racionalidad y la transformación social*, Barcelona, ed. Gedisa (edición original de 1983).
- _____ (1996). *Tuercas y tornillos. Una introducción a los conceptos básicos de las ciencias sociales*, Barcelona, ed. Gedisa (edición original de 1989).
- _____ (2002). *Ulises desatado. Estudios sobre racionalidad, precompromiso y restricciones*, Barcelona, ed. Gedisa (edición original de 2000).
- ENJUANES, L., et al. (1994). “Protección frente a infecciones por virus: diseño de vacunas y desarrollo de animales transgénicos”; en J. López y A. Modrego (eds.), *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Madrid, ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, pp. 147-158.
- Ernst & Young (1998). *European Biotech 98*, Luxemburgo, ed. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.
- EUROPA INFORMACIÓN INTERNACIONAL (1992). “CE/BIOTECNOLOGÍA: Los verdes del Parlamento Europeo inician una campaña contra el proyecto de Directiva CEE acerca de la posibilidad de patentar inventos biotecnológicos –Peligros del proyecto”, *Europe Información Internacional*, nº 2810, pp. 13-14.
- FERRATER MORA, J. (1998). *Diccionario de Filosofía*, vol. IV (Q-Z), Barcelona, ed. Ariel, pp. 3033-3037.
- FERRER, I. (1999). “Un informe oficial británico alerta sobre los riesgos medioambientales de los transgénicos”, 18 de febrero, <http://www.elpais.es>.

- ____ (2000). “El reino unido aprueba la clonación de embriones con fines médicos”, 20 de diciembre, <http://www.elpais.es>.
- FISCHHOFF, B., SLOVIC, P., y LICHTENSTEIN, S. (1979). “Weighing the risk”, *Environment*, 21 (4), pp. 17-38.
- FOX, M. (2003). “Los científicos logran manipular por primera vez los genes de células madre embrionarias”, *El País*, 10 de febrero, p.27.
- GANTET, P., y DRON, M. (1993). “Los colores de las flores”, *Mundo Científico*, vol. 13, n° 139, octubre, pp. 808-817.
- GASKELL, G. (coord.) (2002). “Europeans and Biotechnology in 2002, Eurobarometer 58.0”, *Report to the CE Directorate General for Research from the Project, Life Sciences in European Society*, QL7-CT-1999-00286, Luxemburgo, ed. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.
- GIANESSI, L. P., y CARPENTER, E. (1999). *Agricultural biotechnology: insect control benefits*, Washington D. C., ed. National Centre for Food and Agricultural Policy, July.
- GIDDENS, A. (1999). *Consecuencias de la modernidad*, Madrid, ed. Alianza editorial (edición original de 1990).
- GOLDBLATT, D. (1996). *Social Theory & the Environment*, Cambridge, ed. Polity Press.
- GOULD, F., *et al.* (1997). “Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* in field populations of *Heliothis virescens*”, *Proceedings of the National Academy of Science of United States of America*, n° 94, pp. 3519-3523.
- HALL, R. (1985). *La revolución científica 1500-1750*, Barcelona, ed. Crítica (edición original de 1962).
- HANSEN, M. (2000). “Biotecnología y sistema agroalimentario”, *Documento I/2000 de la Fundación I° de Mayo*.
- HILBECK, A., *et al.* (1998). “Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey of mortality and development time of immature *Chisoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae)”, *Environmental Entomology*, 27 (2), pp. 480-487.
- HOBBLINK, H. (1987). *Más allá de la revolución verde. Las nuevas tecnologías genéticas para la agricultura, ¿desafío o desastre?*, Barcelona, ed. Lerna.
- HOLMES, L., *et al.* (1997). *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*, Honolulu, ed. University Press of Hawaii.

- HOTTOIS, G. (1991). *El paradigma bioético. Una ética para la tecnocracia*, Barcelona, ed. Anthropos (edición original de 1990).
- ____ (1999). *Historia de la filosofía. Del renacimiento a la posmodernidad*, Madrid, ed. Ctedra (edición original de 1997).
- <http://www.laneta.apc.org/pipermail/ciepac-e/2000-September/000043.htm>.
- <http://www.fao.org/Noticias/2000/000304-s.htm>.
- <http://www.greenpeace.org.mx/php/doc.php?f=tr-prod-trans-xml>.
- HOUBEINE, L. M. (1995). “El biólogo y el animal transgénico”, *Mundo Científico*, vol. 15, n° 153, enero, pp. 37-41.
- HUXLEY, A. (1992). *Un mundo feliz*, México, ed. Editores Mexicanos Unidos (edición original de 1932).
- IGLESIAS, H. (1999). “España es el país europeo que más importa y cultiva maíz alterado”, 19 de febrero, <http://www.elpais.es>.
- INTERNATIONAL RESEARCH ASSOCIATES (2000). *Eurobarometer 52.1. The Europeans and biotechnology*, Luxemburgo, ed. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.
- JENKINS, R. (1998). “Bt in the hot seat”, *Seedling the quarterly newsletter of Genetic Resources Action International*, <http://www.grain.org/publications/set98/set982.htm>.
- JESSE, H.L., y OBRYCKI, J.J. (2000). “Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly”, *Oecología*, n° 125, pp. 241-248.
- KHUN, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*, México, ed. Fondo de Cultura Económica (edición original de 1962)
- KLEINER, K. (1997). “Fields of Genes”, *New Scientist*, 16 de agosto, <http://www.newscientist.com/hottopics/gru/gru.jsp?id=20950200>.
- KLING, J. (1996). “Could transgenic supercrops one day greed superweeds?”, *Science*, n° 274, pp. 180-181.
- KRAUS, N. N., MALFORS, R., y SLOVIV, P. (1992). “Intuitive toxicology expert and lay judgments of chemical risks”, *Risk Analysis*, 12 (2), pp. 215-232.
- KRIMSKY, S. (1992). “Regulating Recombinant DNA Research”; en D. Nelkin (ed.), *Controversy Politics of Technical Decisions*, London, ed. Sage Publications, pp. 251-280.
- KYMLICKA, W. (1995). *Filosofía política contemporánea. Una introducción*, Barcelona, ed. Ariel (edición original de 1990)

- LACADENA, J. R. (1983). *Genética y condición humana*, Madrid, ed. Alhambra.
- LEMKOW, L. (1993). *Actitudes públicas hacia la ingeniería genética: algunas perspectivas europeas*, Luxemburgo, ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- ____ (2002). *Sociología ambiental. Pensamiento socioambiental y ecología social del riesgo*, Barcelona, ed. Icaria.
- LIZÓN, A. (1996). *A metric evaluation of components of public perception in the face of biotechnological risk*, 4 vols., Informe del estudio CEC (BIO2-CT94-0012).
- ____ (1997). “Avaluació informal de riscos i perills associats a la biotecnologia: l’opinió experta. Un panel tipus delphi”, *Ambits de polítiques i sociologia*, nº 5, ed. Col.legi de Doctors i Llicenciats de Ciències Polítiques i Sociologia de Catalunya, pp. 22-36.
- MACKENZIE, D. A. (1981). *Statistics in Britain, 1865-1930*, Edinburgh, ed. Edinburgh University Press.
- MARTÍ, O. (1998). “Rhône Poulenc y Hoechst crean el segundo mayor grupo de farmacia”, diciembre, <http://www.elpais.es>.
- MAYANO, A. N., y GLEICH, G. J. (1994). “Eosinophilia myalgia syndrome and triptophan productions: a cautionary tale”, *TIBTECH*, nº 12, pp. 346-352.
- MEYER, Ch. et al. (1993). “La utilización del nitrógeno en las plantas”, *Mundo Científico*, vol. 15, nº 153, noviembre, pp. 22-25.
- MIKKELSEN, T. R., ANDERSEN, B., y JORGENSEN, R. B. (1996). “The risk of crop transgene spread”. *Nature*, nº 380, p. 31.
- MORGAN, T.H., Sturtevant, A.H., Muller, H.J., y Bridges, C.B. (1915). *Mechanism of Mendelian Heredity*, New York, ed. Henry Holt and Company.
- MORENO, L., LEMKOW, L., y LIZÓN, A. (1992). *Biotecnología y sociedad. Percepción y actitudes públicas*, Madrid, ed. Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Secretaría General Técnica.
- MÜLER-HILL, B. (1993). “La desigualdad genética y la injusticia social: una lección de la historia”; en S. Grisolí (ed.), *Proyecto Genoma humano: ética*, Madrid, ed. Fundación BBV, pp. 381-389.
- MUÑOZ, E. (1995). “Ingeniería genética en el sector primario y secundario: beneficios y problemas”, *Documento de trabajo 95-01 del Instituto de Estudios Sociales Avanzados*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- NELKIN, D. (1992). "Science, Technology and Political Conflict: Analysing the issues"; en D. Nelkin (ed.), *Controversy Politics of Technical Decisions*, London, ed. Sage Publications, pp. 9-24.
- NEWELL, J. (1990). *Manipuladores de genes*, Madrid, ed. Pirámide (edición original de 1989).
- NORDLEE, J.A. et al. (1996). "Identification of a Brazil nut allergen in transgenic soybeans", *The New England Journal Medicine*, 334 (11), pp. 688-692.
- OTWAY, H., y COHEN, J. J. (1975) *Revealed Preferences: Comments on the Starr Benefit-Risk Relationships*, Laxemberg, Austria, ed. International Institute for Applied Analysis.
- PARLAMENTO EUROPEO (2001). *Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2001/18/CE de 12 de marzo de 2001 sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente y por la que se deroga la Directiva 90/220/CEE del Consejo*, Luxemburgo, ed. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas pp.1-38.
- _____ (2003). *Reglamento (CE) n° 1830/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2003 relativo a la trazabilidad y al etiquetado de organismos modificados genéticamente, y a la trazabilidad de los alimentos y piensos producidos a partir de éstos, y por el que se modifica la Directiva 2001/18/CE*, Luxemburgo, ed. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.
- PÉREZ, A. R. (1995). "Racionalidad y desarrollo científico"; en L. Olivé (ed.), *Racionalidad epistémica*, Madrid, ed. Trotta, pp. 171-201.
- PERINAT, A., y Lemkow, L. (1983). "Biología y ciencias humanas", *Papers revista de sociología*, n° 19, pp. 13-70.
- PESTICIDE ACTION NETWORK (1998). "Global Enterprises Dominate Commercial Agriculture", *Industry, Merges, Integration*, <http://www.biotech-info.net/dominate.html>.
- RAWLS, J. (1995). *Teoría de la justicia*, Madrid, ed. Fondo de Cultura Económica (edición original de 1971).
- REDCLIFT, M., y WOODGATE, G. (1997). "Sociology and environment discordant discourse"; en M. Redclift, y T. Benton (ed.): *Social Theory and the Global Environment*, London & New York, ed. Rotledge, pp. 51-56.
- RIDLEY, M. (1987). *La evolución y sus problemas*, Madrid, ed. Pirámide (edición original de 1985).

- RIFKIN, J. (2001). “El estudio de la célula madre: el plan comercial oculto”, 7 de febrero, <http://www.elpais.es>.
- RIVADULLA, A. (1991). *Probabilidad e inferencia científica*, Barcelona, ed. Anthropos.
- ROSE, S., et al. (1983). *Historia y relaciones sociales de la genética*, Barcelona, ed. Fontalba.
- ROYAL SOCIETY of London, The U.S. National Academy of Sciences, The Brazilian Academy of Sciences, and The Mexican Academy of Sciences (2000). *Transgenic Plants and World Agriculture*, Washington D.C., ed. Natural Academy Press, July.
- RUBIO, V. (1994). “Microorganismos y productos de alto valor añadido”; en J. López y A. Modrego (eds.), *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Madrid, ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, pp. 139-146.
- RUÍZ, M. (2001). “Los artífices del genoma humano admiten que sus aplicaciones tardarán en llegar”, 19 de febrero, <http://www.elpais.es>.
- SABATER, F. (1997). “Vuelve la predestinación”, *El País*, 16 de febrero, p. 13.
- SANPEDRO, J. (2001). “El genoma de un hombre perfecto”, 18 de febrero, <http://www.elpais.es>.
- SCHATZ, C., y LAMY, D. (1995). “Los riesgos asociados al trasplante de genes” *Mundo Científico*, vol. 15, nº 153, enero, pp. 28-29.
- SECRETARÍA DEL CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA (2000). *Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica: texto y anexos*, Montreal, ed. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- SERRA, A. (1993). “El punto de vista católico en sus implicaciones éticas”; en S. Grisolia (ed.), *Proyecto Genoma Humano: Ética*, Madrid, ed. Fundación BBV.
- SERRA, C. (1998). “Arquitectos de la vida”, *Newton*, nº 7, pp. 18-36.
- SHAPIRO, R. (1993). *La impronta humana. La carrera por desentrañar nuestro código genético*, Madrid, ed. Acento editorial (edición original de 1991).
- SHRADER-FRECHETTE, K. (1991). “Reductionist Approaches to risk”; en D. G. Mayo, y R. D. Holander (ed.), *Acceptance evidence. Science and values in risk management*, Oxford, ed. Oxford University Press, pp. 218-248.

- SLOVIC, P. (1992). "Perception of Risk: Reflections on the Psychometric Paradigm"; en S. Krimsky y D. Golding (eds.), *Social theories of Risk*, United States of America, ed. Praeger Publishers, , pp. 117-152.
- SMITH, J. (ed.) (1996). *L'avenir des biotechnologies en Europe. De la recherche-développement a la compétitivité de l'industrie*, compte rendus de la conference organisée par le Club de Bruselles les 26 et 27 setembre avec le soutien de la Comisión Européenne (DG XII), Bruxelles, ed. Club de Bruxelles.
- SMITH, N. (ed.) (2000). "Seeds of opportunity: An assessment of the benefits, safety, and oversight of plant genomic and agricultural biotechnology", *Paper of the Committee on Science of United States of America*, 13 de abril.
- SNOW, A. A., y JORGENSEN, R. B. (1998). "Cost of transgenic glufosinate resistance introgressed from *Brassica napus* into weedy *Brassica rapa*", *Paper presented at the Annual meeting of the Ecological Society of America*, agosto.
- STARR, C. (1969). "Social benefit versus technology risk: What is our society willing to pay for safety?", *Science*, nº 165, pp. 1232-1238.
- STARR, C., y WHIPPLE, C. (1980). "Risk of risk decisions", *Science*, vol. 5, nº 208, pp. 1114-1119.
- STORK, H. (1977). *Einführung in die Philosophie der Technik*, Darmstadt, ed. Wissenschaftliche Buchgesellschaft,
- SVATOS, M. (1996). "Biotechnology and the utilitarian argument for patents", *Scientific, Innovation, Philosophy and Public Policy*, vol. 13, nº 2, summer, pp. 113-144.
- TERRAGNI, F. (1995). *The public debate on biotechnology in Southern European Countries (Contrato BIO2-CT93-603)*. Borrador de los resultados de España.
- THOMSON *et al.* (2002). "BMP4 initiates human embryonic stem cell differentiation to trophoblast", *Biotechnology Nature*, vol. 20, nº 12, diciembre, pp. 1261-1264.
- VAN DEN BURG, W. (1996). "Legislation on Human Embryos: From Status Theories to Value Theories", *Archives for Philosophy of Law and Social Philosophy*, vol. 82, 1. Quarterly, Heft 1, pp. 73-87.

- VARGAS, R. (1992). “Ética y Marxismo”; en V. Camps, O. Guarglia y F. Salmerón (ed.), *Concepciones de la ética*, Madrid, ed. Trotta, pp. 201-224.
- WATSON, J. (1993). “Polimorfismo genético y entorno medioambiental”; en S. Grisolia (ed.), *Proyecto Genoma Humano: Ética*, Madrid, ed. Fundación BBV.
- WEBER, M. (1993). “Conceptos sociológicos fundamentales”; en M. Weber, *Economía y sociedad*, Madrid, ed. Fondo de Cultura Económica (edición original de 1922), pp. 5-45.
- WILKIE, T. (1994). *El conocimiento peligroso. El proyecto Genoma Humano y sus implicaciones*, Madrid, ed. Debate (edición original de 1993).
- WILKINSON, J. (1992). “La biotecnología y el sistema agroalimentario: impactos en la reorganización de las fases de producción y transformación”; en M. Rodríguez (ed.), *El sistema agroalimentario ante el mercado único europeo*, Madrid, ed. Nerea, pp. 81-109.

Perspectivas y controversias de las nuevas biotecnologías

Apuntes sobre una tecnología del siglo XXI,

se diseñó en formato digital electrónico en la Dirección de Ediciones
y Publicaciones de la Universidad Autónoma
del Estado de Hidalgo, en el mes de septiembre de 2023.

El libro que el lector tiene en sus manos tiene varios méritos que lo hacen valioso. El primero de ellos, es que nos lleva de la mano en la descripción histórica de las nuevas biotecnologías, tanto a nivel teórico como tecnológico y práctico. Esta descripción nos permite adentrarnos en la forma evolutiva, pero también disruptiva, en que dichos avances tuvieron lugar. El segundo mérito es que nos da cuenta de los debates más importantes que han tenido lugar en torno a estas nuevas tecnologías de la vida: debate sobre el riesgo, sobre las repercusiones éticas, sobre las repercusiones de la ciencia, comercio agroalimentario y el “tercer mundo”. Por último, y no menos importante, nos ejemplifica la opinión de legos y expertos sobre las nuevas biotecnologías en diversos ámbitos: científico, tecnológico y práctico.

**Dr. Louis Lemkow Zetterling
Director del Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental
Catedrático de la Universidad Autónoma de Barcelona**

ISBN: 978-607-482-182-6

