

**FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGÍA
TESIS DOCTORAL
MARZO DE 2003**

**LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS EN ESPAÑA.
CONSIDERACIONES SOCIOLÓGICAS SOBRE SUS
POLÍTICAS, CONTROVERSIAS Y OPINIONES**

**AUTOR: Juan Taguenga Belmonte
DIRECTOR DE LA TESIS: Louis Lemkow Zetterling**

A mis padres con amor

FE DE ERRATAS

Página II

Donde dice:

4. El marco legal del actual Sistema Público de Ciencia-Tecnología-Empresa..... 61

Debe decir:

4. El marco institucional del actual Sistema Público de Ciencia-Tecnología-Empresa. 61

Página X

Donde dice:

4.3.4. Evolución de la aceptación pública de la ciencia y la tecnología..... 524

Debe decir:

4.3.4. Evaluación de la aceptación pública de la ciencia y la tecnología..... 524

Página 73

Donde dice:

e incluso procesos de descontaminación de aguas residuales ricas en metales basados en el acoplamiento de etapas de bioadsorción de iones metálicos en algas

Debe decir:

e incluso procesos de descontaminación de aguas residuales ricas en metales basados en el acoplamiento de etapas de bioabsorción de iones metálicos en algas

Página 85 nota 102

Donde dice:

De entre ellas destacamos por su importancia las siguientes: maíz, col, colza, algodón, melón, tomate (*dicotolidóneas*), arroz, maíz, trigo (*monocotiledóneas*).

Debe decir:

De entre ellas, destacamos por su importancia las siguientes: col, colza, algodón, melón, tomate (*dicotiledóneas*), arroz, maíz, trigo (*monocotiledóneas*).

Página 126

Donde dice:

El fluido amniótico se extrae en pequeñas cantidades insertando 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.

Debe decir:

El fluido amniótico se extrae en pequeñas cantidades insertando 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.

Página 160

Donde dice:

Ley Orgánica de Universidades, de 26 de diciembre de 2001, (Ley 121/2001)

Debe decir:

Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades

Donde dice:

(Boletín Oficial de las Cortes Generales, 16/XII/2001: 476-477).

Debe decir:

(Ley Orgánica de Universidades, 24 de diciembre de 2001: 49410-49411).

Página 161

Donde dice:

(Boletín Oficial de las Cortes Generales, 26/XII/2001: 470).

Debe decir:

(Ley Orgánica de Universidades, 24 de diciembre de 2001: 49405-49406).

Página 173

Donde dice:

(Teresa González de la Fe, 1994: 199).

Debe decir:

(González de la Fe, 1994: 199)

Página 179

El siguiente texto, que se encuentra como parte de la nota a pie de página, se haya repetido, por un error de edición, y hay que suprimirlo:

Empleado por la Memoria de Actividades de I+D+I de 1999 que nos sirve de fuente de los datos que aquí estamos comentando.

Página 195

Donde dice:

En los seis años que contemplamos (1993-1999)

Debe decir:

En los siete años que contemplamos (1993-1999)

Página 205 nota 225

Donde dice:

Creemos que las empresas que hemos incluido en el apartado de innovadoras son las que en mayor medida podemos considerar como biotecnológicas, en el sentido de que utilizan las nuevas biotecnologías en su producción. Que utilizan las nuevas tecnologías de la vida. Sin embargo, las empresas que producían productos provenientes de esta área de conocimiento en España no pasaban en la fecha considerada de una veintena;

Debe decir:

Creemos que las empresas que hemos incluido en el apartado de innovadoras son las que en mayor medida podemos considerar como biotecnológicas, en el sentido de que utilizan las nuevas biotecnologías en su producción. Sin embargo, las empresas que producían productos provenientes de esta área de conocimiento en España no pasaban en la fecha considerada de una veintena;

Página 252

El gráfico 4.19. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS USADAS POR LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 1992-1997 debe contener, ordenadas de arriba abajo, las siguientes leyendas:

- Biotecnología vegetal y animal
- Ingeniería genética
- Biología estructural
- Microbiología
- Genética molecular
- Bioprocessos
- Anticuerpos monoclonales
- Bioinformática

Página 300

Donde dice:

Otra división de los valores en categorías la encontramos en postpositivistas como Hempel, MacMullin, Ángel y Scriven

Debe decir:

Otra división de los valores en categorías la encontramos en postpositivistas como Hempel, MacMullin, Ángel y Scriven

Página 329

Donde dice:

(DIRECTIVA DEL Consejo 90/220/CEE, 23 de abril de 1990: 15).

Debe decir:

(Directiva del Consejo 90/220/CEE, 23 de abril de 1990: 15).

Página 204

El siguiente texto se haya repetido, por un error de edición, y hay que suprimirlo:

Tive in producing more innovation. The patent system aims to correct problem.”

Página 411:

Donde dice:

Las utilizaciones de embriones humanos con fines humanos con fines industriales o comerciales”

Debe decir:

Las utilizaciones de embriones humanos con fines industriales o comerciales”

Página 453

Donde dice:

La superficie creciente de cultivos 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”

Debe decir:

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”

Página 471

El siguiente texto se haya repetido, por un error de edición, y hay que suprimirlo:

tigadora queda afectada por los controles que se ejercen sobre ella. El sector empresarial fue rechazado de pleno, como el adecuado para llevar a cabo los controles, porque la lógica del

Página 485

Donde dice:

siendo el grumo más crítico con los medios de comunicación, a los que acusaron de omitir, distorsionar y manipular la información.

Debe decir:

siendo el grupo más crítico con los medios de comunicación, a los que acusaron de omitir, distorsionar y manipular la información.

Página 524

Donde dice:

21 de los entrevistados distingue entre investigación aplicada e investigación aplicada (los 5 del grupo iglesia, los 5 del grupo ONG y movimientos sociales, los 6 ecologistas y los 5 investigadores), 20 no lo hacen.

Debe decir:

21 de los entrevistados distingue entre investigación básica e investigación aplicada (los 5 del grupo iglesia, los 5 del grupo ONG y movimientos sociales, los 6 ecologistas y los 5 investigadores), 20 no lo hacen.

Página 551

El siguiente texto se haya repetido, por un error de edición, y hay que suprimirlo:

Que lo hicieron, 6 (1 del grupo Administración Pública y 5 del grupo investigadores) piensan que directamente y todo el poder corresponde a las autoridades públicas; 1 (el mismo entrevistado de la Administración Pública) opina que directamente y principalmente a la comunidad científica; 1 (el representante de la Administración Pública que contesto aquí) cree que indirecta y principalmente a los grupos ecologistas y a las ONG y otros movimientos sociales, y 5 (todos ellos del grupo de investigadores que indirecta y principalmente a la comunidad científica. El único grupo que se manifiesta aquí es el de investigadores, y lo hace de manera coherente, a nuestro entender al conceder directamente todo el poder a las autoridades públicas e indirecta y

Página 556

Donde dice:

Destacar que todos los entrevistados expresan que las actividades científicas, tecnológicas, biotecnológicas y de ingeniería genética deben ser controladas en gran medida; y que 1 de los entrevistados y los 5 del grupo Administración Pública creen que este control no debe ser tan alto.

Debe decir:

Destacar que todos los entrevistados expresan que las actividades científicas, tecnológicas, biotecnológicas y de ingeniería genética deben ser controladas en gran medida; y que 1 de los entrevistados del grupo industria y los 5 del grupo Administración Pública creen que este control no debe ser tan alto.

Página 563

Donde dice:

Ambas temáticas se sitúan en un nivel de población informada muy bajo (29% y 26% respectivamente).

Debe decir:

Ambas temáticas se sitúan en un nivel de población informada muy bajo (28% y 26% respectivamente).

Página 573

Donde dice:

que cuanto mayor es el nivel educativo más negativa es la opinión

Debe decir:

que cuanto mayor es el nivel educativo más positiva es la opinión

Página 596

Donde dice:

y cuanto menor es mayor es la confianza en los médicos.

Debe decir:

y cuanto menor es, mayor es la confianza en los médicos.

Página 622

Donde dice:

Starr C.

1969 <http://www.elpais.es>: “Social benefit versus technology risk: What is our society willing to pay for safety?”, *Science*, nº 165, pp. 1232-1238.

Debe decir:

1969: “Social benefit versus technology risk: What is our society willing to pay for safety?”, *Science*, nº 165, pp. 1232-1238.

Hay que incluir, por omisión, la siguiente referencia bibliográfica que se menciona en el texto:

Ley Orgánica de Universidades, Boletín Oficial de las Cortes Generales, 26 de diciembre de 2001, pp. 49400-49425.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO PRIMERO. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS.....	18
1. Introducción.....	18
2. Génesis de la biotecnología.....	20
3. Los orígenes de la genética moderna.....	21
3.1. Las aportaciones de Charles Robert Darwin a la genética moderna.....	22
3.2. Las aportaciones de Johan Gregor Mendel a la genética moderna.....	29
3.3. Las aportaciones de August Weismann a la genética moderna.....	35
4. Los avances de la genética moderna (1900-1953).....	36
4.1. El debate entre los partidarios de la variabilidad continua y los partidarios de la variabilidad discontinua.....	37
4.2. Las posibilidades y los límites de la selección.....	39
4.3. Una habitación con moscas.....	42
4.4. Mutaciones.....	44
4.5. La moderna genética de poblaciones.....	45
4.6. Génesis de la genética molecular moderna.....	49
4.7. La estructura molecular de los ácidos nucleicos.....	58
5. Los avances más importantes y recientes de las nuevas biotecnologías y de la Genética (1953-2001).....	62
CAPÍTULO SEGUNDO. APLICACIONES DE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS.....	67
1. Introducción.....	67
2. Definición de nuevas biotecnologías.....	67
3. Nuevas biotecnologías en microorganismos.....	68
3.1. Utilización de los microorganismos como biodegradadores de la Contaminación.....	71

3.2. Utilización de los microorganismos en alimentación.....	76
4. Nuevas biotecnologías aplicadas en plantas.....	78
4.1. Nuevas biotecnologías aplicadas a la mejora de plantas.....	81
4.2. Nuevas biotecnologías aplicadas en los campos de los insecticidas y herbicidas.....	89
4.3. Nuevas biotecnologías aplicadas a conferir resistencias a las plantas frente a los insectos.....	94
4.4. Nuevas biotecnologías aplicadas a enfermedades de plantas.....	96
4.5. Nuevas biotecnologías aplicadas a dotar de características polivalentes a las plantas.....	98
5. Nuevas biotecnologías en animales.....	100
5.1. Nuevas biotecnologías como mejoradoras de la producción y calidad de productos extraídos de los animales.....	104
5.2. Nuevas biotecnologías aplicadas a que los animales produzcan importantes sustancias humanas.....	109
5.3. Nuevas biotecnologías aplicadas a la salud animal.....	111
6. Nuevas biotecnologías en humanos.....	113
6.1. El Proyecto Genoma Humano.....	114
6.2. Diagnóstico genético.....	124
6.3. Terapia génica.....	130
7. Otras aplicaciones de las nuevas biotecnologías.....	142
7.1. Nuevas biotecnologías aplicadas a producir biosensores.....	142
7.2. Nuevas biotecnologías aplicadas a la producción de alimentos.....	146
CAPÍTULO TERCERO. SISTEMA PÚBLICO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN ESPAÑA.....	152
1. Introducción.....	152
2. Antecedentes históricos del actual Sistema Público de Investigación y Desarrollo español.....	153
3. El marco legal del actual Sistema Público de Ciencia Tecnología-Empresa.....	158
4. El marco legal del actual Sistema Público de Ciencia-Tecnología-Empresa.....	161
5. El Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación.....	167

6. Principales indicadores del Sistema Ciencia-Tecnología-Empresa.....	173
6.1. Porcentaje del gasto español en Investigación y Desarrollo sobre el Producto Interior Bruto (1987-1999).....	174
6.2. Gasto en Investigación y Desarrollo en millones de dólares con paridades de poder de compra en España (1987-1999).....	176
6.3. Gasto en Investigación y Desarrollo por habitante en dólares corrientes con paridades de poder de compra en España (1987-1999).....	177
6.4. Gasto en Investigación y Desarrollo por investigador en miles de pesetas corrientes en España (1987-1999).....	178
6.5. Distribución del gasto en Investigación y Desarrollo por origen de los fondos en España (1987-1999).....	179
6.6. Distribución del gasto en Investigación y Desarrollo por sectores de ejecución en España (1987-1999).....	183
6.7. Personal e investigadores dedicados a la Investigación y el Desarrollo en España (1989-1999).....	184
6.8. Distribución por sectores de ejecución del personal e investigadores dedicados a la I+D en España (1987-1999).....	187
6.9. Resultados del sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa (1991-1998).....	189
6.9.1. Producción científica española (1991-1998).....	189
6.9.2. Las patentes en el Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa (1991-1998).....	190
6.10. Distribución geográfica del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa (1993-1999).....	194
6.11. Comparación internacional de indicadores del Sistema Ciencia-Tecnología-Empresa (1999).....	198
6.11.1. Comparación internacional del porcentaje del PIB español dedicado a la Investigación y Desarrollo (1999).....	198
6.11.2. Comparación internacional del tanto por mil de investigadores españoles sobre población activa dedicados a la Investigación y Desarrollo (1999).....	200
6.11.3. Comparación internacional de las publicaciones científicas españolas por millón de habitantes (1999).....	201
6.11.4. Comparación internacional de las patentes españolas por millón de Habitantes (1999).....	202

CAPÍTULO CUARTO. LA BIOTECNOLOGÍA EN ESPAÑA.....	204
1. Introducción.....	204
2. La estructura pública de la biotecnología en España.....	207
2.1. La biotecnología en el IV Programa Nacional de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación.....	207
2.2. Algunos indicadores sobre la Investigación y el Desarrollo biotecnológico del sector público español en 1999.....	210
2.2.1. Fondos destinados al Programa de Biotecnología por el III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en 1999.....	211
2.2.2. El Programa Biotecnología en el Eje de actividad Proyectos del III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en 1999.....	216
2.2.3. Cofinanciación del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en 1999 de proyectos de la Unión Europea en el V Programa Marco.....	227
2.2.4. Otras financiaciones de proyectos en los que estuvo presente la Investigación y Desarrollo en biotecnología durante 1999.....	229
2.3. Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	231
2.3.1. Distribución geográfica de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	231
2.3.2. Distribución sectorial de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	234
2.3.3. Distribución de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionadas con la biotecnología por número y tipo de empleados.....	236
2.3.4. Agencias Nacionales finanziadoras de I+D de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	239
2.3.5. Agencias Autonómicas finanziadoras de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	242
2.3.6. Agencias de la Unión Europea finanziadoras de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	244
2.3.7. Otras Agencias finanziadoras de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	247

2.3.8.	Agencias financieradoras de los Centros Pùblicos de investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	249
2.3.9.	Principales tecnologías usadas por los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	251
3.	La estructura privada de la biotecnología en España.....	253
3.1.	Bases de datos y publicaciones consultadas.....	254
3.2.	Indicadores generales.....	255
3.2.1.	Distribución geográfica de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	255
3.2.2.	Distribución sectorial de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	257
3.2.3.	Distribución por antigüedad de las empresas relacionadas con la biotecnología ubicadas en España(1997).....	259
3.2.4.	Distribución por tamaño de facturación de las empresas relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1997).	261
3.2.5.	Distribución por número de empleados de las empresas relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1997).	263
3.2.6.	Distribución por países de las compañías matrices de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	265
3.2.7.	Distribución por países de las empresas relacionadas con la biotecnología sin sede en España que distribuyen sus productos a través de empresas con sede en España (1997)....	266
3.3.	Indicadores de las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	268
3.3.1.	Distribución geográfica de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	269
3.3.2.	Distribución sectorial de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	271
3.3.3.	Distribución geográfica de las Agencias financieradoras de las empresas innovadoras relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1992-1997).....	273
3.3.4.	Principales tecnologías usadas por las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1992-1997).....	275

3.4. La industria española ante la biotecnología.....	277
4. Comparación de la estructura pública y privada de la biotecnología en España (1997).....	280
4.1. Distribución sectorial y geográfica de los Centros Públicos de Investigación y las empresas con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1997).....	281
4.2. Distribución de las Agencias financieradoras de los Centros Públicos de Investigación y de las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1992-1997).....	284
4.3. Principales tecnologías usadas por los Centros Públicos de Investigación y las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1992-1997).....	286
CAPÍTULO QUINTO. DEBATES PÚBLICOS SOBRE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS.....	290
1. Introducción.....	290
2. El debate sobre el riesgo.....	296
2.1. Definición del concepto riesgo.....	296
2.1.1. La posición del relativismo cultural.....	297
2.1.2. La posición positivista.....	299
2.1.3. La posición procedimental.....	304
2.1.4. La posición de Jon Elster.....	305
2.1.5. La sociedad del riesgo.....	309
2.2. Algunos riesgos de las nuevas biotecnologías.....	313
2.2.1. Algunos riesgos para la ética derivados de la utilización de las nuevas biotecnologías.....	314
2.2.2. Algunos riesgos sobre la salud que plantean los diagnósticos genéticos.....	315
2.2.3. Algunos riesgos sobre la salud que plantean las terapias génicas.....	315
2.2.4. Algunos riesgos derivados de la utilización de las nuevas biotecnologías por la industria armamentística.....	316
2.2.5. Algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en animales.....	317
2.2.6. Algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en plantas.....	320

2.2.6.1. Riesgos asociados a la producción de plantas diseñadas para que toleren herbicidas.....	321
2.2.6.2. Riesgos asociados a la producción de plantas diseñadas para ser resistentes a insecticidas o insectos.....	322
2.2.6.3. Riesgos asociados a la producción de plantas diseñadas para ser resistentes a virus.....	324
2.2.6.4. Contaminación genética.....	324
2.2.6.5. Riesgos asociados a la utilización de antibióticos como marcadores en la producción de plantas transgénicas.....	326
2.2.7. Algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en microorganismos.....	327
2.2.8. Algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en la manipulación de alimentos.....	330
 2.3. Percepción de riesgo en las nuevas biotecnologías.....	332
2.3.1. La percepción del riesgo en el paradigma psicométrico.....	332
2.3.2. La percepción del riesgo de los expertos españoles sobre las nuevas biotecnologías.....	340
 3. El debate ético.....	350
3.1. Debate ético sobre el diagnóstico genético en el embrión.....	354
3.2. Debate ético sobre la terapia génica en el embrión.....	358
3.3. El estatus del embrión con relación a la manipulación genética.....	359
3.3.1. El estatus del embrión según la teoría del derecho.....	362
3.3.2. El estatus del embrión según la teoría del interés.....	364
3.3.3. El estatus del embrión según la teoría de los valores.....	367
3.4. El caso de los “niños de diseño”.....	371
3.5. El caso de los “adultos de diseño”.....	380
3.5.1. Cambios genéticos en un adulto relacionados con su físico.....	381
3.5.2. Cambios genéticos en un adulto relacionados con sus Capacidades.....	384
3.6. El estatus de los no autónomos con relación a la manipulación genética..	388
 4. El debate económico.....	397

4.1.	Las relaciones Ciencia-Industria en el caso de las nuevas biotecnologías	398
4.2.	La protección jurídica de las nuevas biotecnologías.....	401
5.	Debate sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo”.....	413
5.1.	El debate sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo” aplicadas a la salud humana.....	415
5.2.	El debate sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo” aplicadas a la agricultura.....	421
5.2.1.	Consecuencias de la “Revolución Verde” en los países del “Tercer Mundo”	423
5.2.2.	Algunas consecuencias para los países del “Tercer Mundo” de la “Revolución Agrícola” basada en la utilización de las nuevas biotecnologías.....	436
	5.2.2.1. Nuevas biotecnologías utilizadas en la agricultura.....	437
	5.2.2.2. ¿Quién controla la “Revolución Agrícola” basada en las nuevas biotecnologías?.....	439
	5.2.2.3. Intercambiabilidad y sustituibilidad de productos agrícolas.....	449
	5.2.2.4. ¿Son las nuevas biotecnologías una esperanza real para disminuir los <i>inputs</i> agroquímicos?.....	452
	5.2.2.5. Derechos de la propiedad intelectual.....	455
CAPÍTULO SEXTO. LA OPINIÓN PÚBLICA DE LOS ESPAÑOLES SOBRE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS		460
1.	Introducción.....	460
2.	Algunas dificultades de definición.....	461
3.	Primer estudio: <i>Biotecnología y sociedad. Percepción y actitudes públicas</i>	463
3.1.	Grupos de discusión.....	464
3.1.1.	Ficha técnica.....	464
3.1.2.	Resultados obtenidos.....	465
3.1.2.1.	Resultados obtenidos sobre cuestiones éticas y legales....	467
3.1.2.2.	Resultados obtenidos sobre el Proyecto Genoma Humano	467
3.1.2.2.1.	Accesibilidad de los usos con fines médicos de las biotecnologías dirigidas al diagnóstico y a la terapia.....	467

3.1.2.2.2.	Abusos que se pueden producir por la identificación del ADN de las personas.....	468
3.1.2.2.3.	La eugenésia.....	469
3.1.2.2.4.	Modificación en el patrimonio genético humano.....	469
3.1.2.3.	Resultados obtenidos sobre la necesidad de control y regulación.....	470
3.1.2.4.	Resultados obtenidos sobre los aspectos económicos....	471
3.2.	Talleres de trabajo.....	472
3.2.1.	Ficha técnica.....	472
3.2.2.	Resultados obtenidos.....	473
3.2.2.1.	Caracterización de las actividades frente a la biotecnología.....	474
3.2.2.2.	Actitudes frente al riesgo.....	474
3.2.2.3.	Criterios de aplicación.....	477
3.2.2.4.	Regulación y control.....	477
3.2.2.5.	Consenso y legitimación social.....	479
3.2.2.6.	Derecho a la información.....	480
3.2.2.7.	Actitudes de los diferentes grupos participantes en los talleres.....	484
3.3.	Encuesta telefónica.....	485
3.3.1.	La muestra.....	486
3.3.2.	El cuestionario.....	488
3.3.3.	Resultados obtenidos.....	489
3.3.3.1.	Grado de conocimiento del público sobre la biotecnología.....	489
3.3.3.2.	Costes y beneficios de las aplicaciones biotecnológicas.....	490
3.3.3.3.	Evaluación del impacto social de la biotecnología por sectores.....	491

3.3.3.4.	Disposición frente al consumo de productos Biotecnológicos.....	491
3.3.3.5.	Aceptación ética de la manipulación genética.....	492
3.3.3.6.	Control del desarrollo científico y técnico.....	493
3.3.3.7.	Caracterización de las tendencias.....	493
4.	Segundo estudio: <i>The public debate on biotechnology in Southern European countries</i>	495
4.1.	Ficha técnica.....	496
4.2.	Configuración de los grupos y de los entrevistados.....	502
4.3.	Resultados obtenidos.....	515
4.3.1.	Posición de la opinión.....	516
4.3.2.	Actitudes religiosas y participación en el debate público en ciencia y tecnología.....	519
4.3.3.	Posición de la opinión del entrevistado respecto a la biotecnología	522
4.3.4.	Evolución de la aceptación pública de la ciencia y la tecnología....	524
4.3.5.	Evaluación de la aceptación pública de la biotecnología y de la ingeniería genética.....	527
4.3.6.	Naturaleza y fuentes de información.....	530
4.3.7.	Valoración de la información dada por los medios de comunicación.....	533
4.3.8.	Principales agentes de comunicación y formación de opinión en ciencia y tecnología.....	534
4.3.9.	Áreas de ciencia y tecnología de interés público, evaluación de éstas y de la biotecnología en España.....	536
4.3.10.	Opinión respecto al debate público en nuevas tecnologías.....	539
4.3.11.	Principales preocupaciones públicas respecto al desarrollo y estandarización de las aplicaciones de las nuevas biotecnologías....	543
4.3.12.	Actitudes y participación pública en el debate científico y tecnológico.....	549
4.3.13.	Opinión sobre la acción de las Administraciones en el debate público sobre ciencia y tecnología.....	554

4.3.14. Conocimiento y debate sobre la normativa española y de la Unión Europea en ciencia, tecnología, nuevas biotecnologías e ingeniería genética, necesidad de control expresada.....	555
4.3.15. Evaluación de las políticas públicas en ciencia y tecnología.....	557
4.3.16. Evaluación de las políticas públicas en biotecnología e ingeniería genética.....	558
5. Tercer estudio: <i>La imagen social de las nuevas biotecnologías en España</i>	559
5.1. Ficha técnica.....	560
5.2. Resultados obtenidos.....	561
5.2.1. Cuestiones relacionadas con la ciencia y la tecnología.....	562
5.2.2. Cuestiones relacionadas con la biotecnología y la ingeniería genética.....	566
6. Cuarto estudio: <i>THE EUROPEANS AND BIOTECHNOLOGY</i>	568
6.1. Ficha técnica.....	568
6.2. Resultados obtenidos.....	569
6.2.1. Valoración de las nuevas tecnologías para la mejora del nivel de vida a largo plazo.....	570
6.2.2. Implicaciones de las nuevas biotecnologías.....	572
6.2.3. Conocimientos sobre nuevas biotecnologías e ingeniería genética de los encuestados.....	574
6.2.4. Percepciones sobre varias aplicaciones de la biotecnología.....	581
6.2.5. Proyección de las actitudes de los ciudadanos de la Unión Europea respecto a algunos aspectos importantes relacionados con las nuevas biotecnologías.....	589
6.2.6. Valoración del trabajo de distintos agentes sociales relacionados con las nuevas biotecnologías y la ingeniería genética.....	592
6.2.7. Grado de confianza en distintas fuentes de información.....	595
6.2.8. Frecuencia con la que se habla de las nuevas biotecnologías.....	597
7. El perfil medio de los españoles ante las nuevas biotecnologías en la década de 1990.....	598
8. El perfil medio del participante español en el desarrollo y debate de las nuevas biotecnologías (1989-1994).....	601

8.1. Posición crítica.....	602
8.2. Posición desarrollista.....	604
8.3. Posición intermedia.....	606
BIBLIOGRAFÍA.....	608
ANEXOS.....	623
Introducción.....	624
Anexo 1 Distribución geográfica de los Centros Públicos de Investigación españolas relacionadas con la biotecnología (1992-1997).....	627
Anexo 2 Distribución sectorial de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	662
Anexo 3 Distribución geográfica de las empresas ubicadas en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	709
Anexo 4 Distribución sectorial de las empresas ubicadas en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	725
Anexo 5 Distribución por países de las compañías matrices de las empresas ubicadas en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	738
Anexo 6 Distribución por países de las empresas extranjeras relacionadas con la biotecnología que distribuyen sus productos a través de firmas ubicadas en España (1997).....	743
Anexo 7 Distribución sectorial y por actividades de las empresas innovadoras y Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1997).....	748
Anexo 8 Principales tecnologías usadas por las empresas innovadoras y los centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1997).....	752
Anexo 9 Resultados de las entrevistas realizadas en España del estudio: <i>The public debate on biotechnology in Southern European countries</i>	755

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Producción científica española (1991-1998).....	190
Tabla 3.2. Las patentes en el Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa.....	191
Tabla 4.1. Distribución de los fondos destinados al Programa Biotecnología por el II Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en 1999.....	212
Tabla 4.2. Balance del eje de actividad Proyectos del Programa Nacional de Investigación Científica y Desarrollo (1999).....	217
Tabla 4.3. Cofinanciación del III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo español a proyectos europeos del V Programa Marco (1999).....	228
Tabla 4.4. Distribución geográfica de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	232
Tabla 4.5. Distribución sectorial de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología.....	234
Tabla 4.6. Distribución de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología por número y tipo de empleados.....	237
Tabla 4.7. Agencias Nacionales financieras de I+D de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	239
Tabla 4.8. Agencias Autonómicas financieras de I+D de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	242
Tabla 4.9. Agencias de la Unión Europea financieras de I+D de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	245
Tabla 4.10. Otras Agencias Nacionales financieras de I+D de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	248
Tabla 4.11. Otras agencias financieras de I+D de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	249
Tabla 4.12. Principales tecnologías usadas por los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	251
Tabla 4.13. Distribución geográfica de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	256

Tabla 4.14. Distribución sectorial de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	258
Tabla 4.15. Distribución por antigüedad de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	260
Tabla 4.16. Distribución por tamaño de facturación de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	262
Tabla 4.17. Distribución por número de empleados de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	264
Tabla 4.18. Distribución por países de las compañías matrices de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	265
Tabla 4.19. Distribución por países de las empresas relacionadas con la biotecnología sin sede en España que distribuyen sus productos a través de empresas con sede en España (1997).....	267
Tabla 4.20. Distribución geográfica de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	269
Tabla 4.21. Distribución sectorial de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	272
Tabla 4.22. Distribución geográfica de las Agencias financieras de las empresas innovadoras relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1992-1997).....	274
Tabla 4.23. Principales tecnologías usadas por las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1992-1997).....	276
Tabla 4.24. Distribución sectorial y geográfica de los Centros Públicos de Investigación y de las empresas con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1997).....	281
Tabla 4.25. Distribución de las Agencias financieras de los Centros Públicos de Investigación y de las empresas innovadoras con sede en España relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	285
Tabla 4.26. Principales tecnologías usadas por los Centros Públicos de Investigación y las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1992-1997).....	287
Tabla 5.1. Ponderación subjetiva de la posibilidad de ocurrencia, y estimación prospectiva de la significación adversa de algunos impactos asociados a efectos indirectos.....	346
Tabla 5.2. Grandes empresas mundiales de semillas.....	427
Tabla 5.3. Consumo final de fertilizantes (Mt).....	431
Tabla 5.4. Producción total de fertilizantes (Mt).....	433

Tabla 5.5. Las 10 empresas del mundo con mayores ingresos por productos biotecnológicos en billones de dólares (1997).....	447
Tabla 6.1. Clasificación de los datos de la encuesta telefónica del estudio <i>Biotecnología y sociedad. Percepción y actitudes públicas</i>	487
Tabla 6.2. Distribución de la encuesta del estudio <i>La imagen social de las nuevas biotecnologías en España</i> , atendiendo al lugar de residencia del entrevistado.....	560
Tabla 6.3. Nivel de estudios de los entrevistados en la encuesta del estudio <i>La imagen social de las nuevas biotecnologías en España</i>	560
Tabla 6.4. Interés de los entrevistados en distintas temáticas. Resultados obtenidos en el estudio <i>La imagen social de las nuevas biotecnologías en España</i>	562
Tabla 6.5. Información de los entrevistados en distintas temáticas. Resultados obtenidos en el estudio <i>La imagen social de las nuevas biotecnologías en España</i>	563
Tabla 6.6. Diferencia entre interés e información. Resultados obtenidos en el estudio <i>La imagen social de las nuevas biotecnologías en España</i>	564
Tabla 6.7. Valoración riesgos/beneficios de la ciencia y la tecnología. Resultados obtenidos en el estudio <i>La imagen social de las nuevas biotecnologías en España</i>	565
Tabla 6.8. Límites de confianza de la encuesta del estudio <i>The Europeans and Biotechnology</i>	569
Tabla 6.9. Comparación del porcentaje de respuestas que consideran que la tecnología indicada mejora el nivel de vida de los ciudadanos a largo plazo (Eurobarómetros 46.1 y 52.1).....	571
Tabla 6.10. Conocimiento de los entrevistados de las nuevas biotecnologías y de la ingeniería genética en el estudio <i>The Europeans and Biotechnology</i>	575
Tabla 6.11. Comparación de los resultados obtenidos sobre el conocimiento de los entrevistados de las nuevas biotecnologías y de la ingeniería genética (Eurobarómetros 46.1 (1996) y 52.1 (1999)).....	580
Tabla 6.12. Porcentaje de entrevistados que con anterioridad a ser entrevistados habían oido hablar de las siguientes aplicaciones biotecnológicas. Estudio <i>The Europeans and Biotechnology</i>	582
Tabla 6.13. Utilidad, Percepción de riesgo, aceptación moral y apoyo al fomento de determinadas aplicaciones biotecnológicas. Estudio <i>The Europeans and Biotechnology</i>	583
Tabla 6.14. Proyección de las actitudes de los ciudadanos de la Unión Europea respecto a algunos aspectos importantes relacionados con las nuevas biotecnologías. Estudio <i>The Europeans and Biotechnology</i>	590

Tabla 6.15. Valoración del trabajo de distintos agentes relacionados con las nuevas biotecnologías. Estudio *The Europeans and Biotechnology*..... 593

Tabla 6.16. Grado de confianza en distintas fuentes de información. Estudio *The Europeans and Biotechnology*..... 595

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Porcentaje del gasto español en Investigación y Desarrollo sobre el Producto Interior Bruto (1987-1999).....	175
Gráfico 3.2. Gasto en Investigación y Desarrollo en millones de dólares con paridades de poder de compra (1987-1999).....	176
Gráfico 3.3. Gasto en Investigación y Desarrollo por habitante en dólares corrientes con paridades de poder de compra en España (1987-1999).....	177
Gráfico 3.4. Gasto en Investigación y Desarrollo por investigador en miles de pesetas corrientes en España (1987-1999).....	178
Gráfico 3.5. Distribución del gasto en Investigación y Desarrollo por origen de los fondos en España (1987-1999).....	180
Gráfico 3.6. Distribución del gasto en Investigación y Desarrollo por sectores de ejecución en España (1987-1999).....	183
Gráfico 3.7. Personal e investigadores dedicados a la Investigación y el Desarrollo en España (1987-1999).....	184
Gráfico 3.8. Tanto por mil sobre población activa de personal de Investigación y Desarrollo en investigadores en España (1989-1999).....	186
Gráfico 3.9. Distribución por sectores de ejecución del personal dedicado a la I+D en España (1987-1999).....	187
Gráfico 3.10. Distribución por sectores de ejecución de los investigadores dedicados a la I+D en España (1987-1999).....	188
Gráfico 3.11. Distribución del gasto en Investigación y Desarrollo por Comunidades Autónomas (1993-1999).....	195
Gráfico 3.12. Porcentaje del gasto en Investigación y Desarrollo respecto al VAB por Comunidades Autónomas.....	196
Gráfico 3.13. Comparación con la media nacional del porcentaje del gasto en Investigación y Desarrollo respecto al VAB de las Comunidades Autónomas.....	197
Gráfico 3.14. Comparación internacional del porcentaje del PIB español dedicado a la Investigación y Desarrollo (1999).....	199
Gráfico 3.15. Comparación internacional del tanto por mil de investigadores sobre población activa españoles dedicados a la Investigación y el Desarrollo (1999).....	201
Gráfico 3.16. Comparación internacional de las publicaciones científicas españolas por millón de habitantes (1999).....	202

Gráfico 3.17. Comparación internacional de las patentes españolas por millón de habitantes (1999).....	203
Gráfico 4.1. Distribución del Fondo Nacional de Investigación y Desarrollo por ejes de actividad (1999).....	214
Gráfico 4.2. Relación entre el número de proyectos solicitados y concedidos (1999)....	219
Gráfico 4.3. Relación entre la financiación solicitada y concedida (1999).....	220
Gráfico 4.4. Financiación concedida por proyecto (1999).....	221
Gráfico 4.5. Comparación del éxito de proyectos concedidos del Programa Biotecnología con el de la media nacional (1999).....	222
Gráfico 4.6. Comparación del éxito de la financiación concedida al Programa Biotecnología con la media nacional (1999).....	223
Gráfico 4.7. Evolución del Programa Biotecnología por financiaciones solicitadas y concedidas (1996, 1999).....	224
Gráfico 4.8. Evolución del Programa de Biotecnología por financiaciones solicitadas y concedidas (1996, 1999).....	225
Gráfico 4.9. Evolución del Programa de Biotecnología en cuanto a la relación entre proyectos y financiaciones solicitadas y concedidas (1996,1999).....	225
Gráfico 4.10. Evolución de la financiación concedida por proyecto en el Programa de Biotecnología (1996, 1999).....	226
Gráfico 4.11. Distribución geográfica de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	233
Gráfico 4.12. Distribución sectorial de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997).....	236
Gráfico 4.13. Distribución de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología por número y tipo de empleados (1992-1997).....	238
Gráfico 4.14. Agencias Nacionales finanziadoras de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	241
Gráfico 4.15. Agencias Autonómicas finanziadoras de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	244
Gráfico 4.16. Agencias de la Unión Europea finanziadoras de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	247
Gráfico 4.17. Otras Agencias finanziadoras de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	249

Gráfico 4.18. Agencias financieradoras de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	250
Gráfico 4.19. Principales tecnologías usadas por los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997.....	252
Gráfico 4.20. Distribución geográfica de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	256
Gráfico 4.21. Distribución sectorial de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	259
Gráfico 4.22. Distribución por antigüedad de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	261
Gráfico 4.23. Distribución por tamaño de facturación de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	263
Gráfico 4.24. Distribución por número de empleados de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	264
Gráfico 4.25. Distribución por países de las compañías matrices de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	266
Gráfico 4.26. Distribución por países de las empresas relacionadas con la biotecnología sin sede en España que distribuyen sus productos a través de empresas con sede en España (1997).....	268
Gráfico 4.27. Distribución geográfica de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	270
Gráfico 4.28. Distribución sectorial de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997).....	273
Gráfico 4.29. Distribución geográfica de las Agencias financieradoras de las empresas innovadoras relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1992-1997).....	275
Gráfico 4.30. Principales tecnologías usadas por las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1992-1997).....	277
Gráfico 4.31. Distribución sectorial de los Centros Públicos de Investigación y de las empresas con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1997).....	282
Gráfico 4.32. Distribución geográfica de los Centros Públicos de Investigación y de las empresas con sede en España relacionados con la biotecnología (1997).....	283
Gráfico 4.33. Distribución de las Agencias financieradoras de los Centros Públicos de Investigación y de las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1992-1997).....	286

Gráfico 4.34. Principales tecnologías usadas por los Centros Públicos de Investigación y las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1992-1997).....	288
Gráfico 5.1. Consumo total de fertilizantes (Mt).....	432
Gráfico 5.2. Producción total de fertilizantes (Mt).....	434

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Ejemplos de proteínas expresados en hongos filamentosos.....	69
Cuadro 2.2. Producción microbiana de ingredientes alimenticios.....	77
Cuadro 2.3. Prioridades en el diseño de vacunas para la salud animal.....	112
Cuadro 2.4. Riesgos asociados a la transferencia de genes que utilizan como vectores a <i>retrovirus</i> y <i>adenovirus</i>	138
Cuadro 2.5. Desarrollo de técnicas para la transferencia de genes en sistemas no Víricos.....	140
Cuadro 2.6. Desarrollo de técnicas para la transferencia en sistemas víricos.....	141
Cuadro 2.7. Campos más importantes de las aplicaciones biotecnológicas en la industria alimenticia.....	147
Cuadro 2.8. Mejoras de enzimas por ingeniería genética.....	148
Cuadro 2.9. Sondas de ADN en desarrollo.....	149
Cuadro 3.1. Áreas prioritarias de actuación del IV Plan Nacional de Investigación y Desarrollo (2000-2003).....	169
Cuadro 5.1. Aplicaciones de la biotecnología.....	402
Cuadro 5.2. Desarrollo de la resistencia de los cultivos a los herbicidas.....	454

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Composición de la Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnológica.....	165
Figura 5.1. Localización de 81 fuentes de azar en los factores 1y 2 derivados de las interrelaciones de 15 características del riesgo.....	336
Figura 5.2. Posibilidades de selección abiertas a la genómica en la alteración de partes del ser humano.....	371

AGRADECIMIENTOS

Elaborar una tesis es una tarea individual que sin embargo necesita del apoyo y afecto de muchas personas con nombres propios, personas que merecen aparecer en ella por su participación directa o indirecta en lo bueno que la misma pueda tener. En este sentido mis agradecimientos se inician de manera muy sentida con mi padre, Julio Taguenga, que en todo momento me apoyó, sobre todo con su inmensa comprensión y cariño, y que sigue ahí como un espíritu bueno que me ayuda en los momentos de desfallecimiento; también mi madre, Antonia Belmonte, merece mi consideración y mi más profunda gratitud por su inmenso afecto que nada puede igualar. Mi director de tesis, Louis Lemkow, más que director ha sido el amigo dispuesto a escuchar las dudas y a disiparlas con su gran conocimiento sobre lo que le planteaba; también él sabe mucho sobre los claroscuros de este trabajo, y de la importancia que para mí ha tenido contar con su apoyo en todo momento. Ángeles Lizón, profesora titular del departamento de sociología de la Universidad Autónoma de Barcelona, tiene mucho que ver, aunque su modestia no lo admita, de lo bueno que pueda tener esta tesis, y no sólo por sus excelentes recomendaciones bibliográficas, sino también por sus comentarios brillantes a distintos aspectos relacionados con ella, aspectos que sin su claridad expositiva aún permanecerían oscuros en mi mente. Pep Espulga, profesor ayudante del departamento de sociología de la Universidad Autónoma de Barcelona, me recomendó bibliografía específica sobre el tema del riesgo que me ha sido de gran ayuda para elaborar esa parte de la tesis, mi gratitud por ello. Alejandro Viñamata, con la generosidad que le caracteriza, me ayudó a recoger información utilizada en el capítulo tercero de esta tesis. A la amabilidad de Marta Zan, miembro de la Comisión Interministerial de la Ciencia y la Tecnología, debo el disponer de parte del material utilizado en los capítulos tercero y cuarto, mi agradecimiento más sincero por sus envíos y apoyo. A Javier Martínez Vasallo, Consejero Técnico de Gestión Científica del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria; a Elisa Barahona, una de las responsables del área de biotecnología del Ministerio de Medio Ambiente; a María Dolores Marín del Centro

para el Desarrollo Tecnológico Industrial; a Ana Sánchez, Consejero Técnico de la Subdirección General de Biotecnologías, Tecnologías Químicas y otras Tecnologías; a Armando Albert del Centro de Información y Documentación Científica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, a José Miguel Martínez, Gestor del Programa Nacional de Biotecnología del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, y a Ana Lázaro de la Oficina de Vigilancia Biotecnológica de la Oficina Española de Patentes y marcas les debo el acceso a bases de datos específicas utilizadas en esta tesis; es por ello justo que les exprese mi gratitud. Espero que me disculpen los otros muchos nombres que deberían figurar aquí por su colaboración en las entrevistas o en las encuestas que me han servido de base para escribir el capítulo sexto de esta tesis; se encuentren donde se encuentren, y aunque no sean citados de forma más personalizada, les agradezco su colaboración.

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 esta tesis.

El ser humano se enfrenta por primera vez frente 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 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 ella ya no es contemplativa, sino definitivamente operativa. En efecto, la belleza de la naturaleza es ya solo 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 comunióñ 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. Y la naturaleza transformada es más rentable que la existente porque ya es sociedad, y la sociedad puede ser apropiada como valor añadido.¹

¹ 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 él 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 es². 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 Krimsky Sheldon: “Science is a big business and recombinant DNA research is no exception” (Sheldon, 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 que 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 80 con el sector agroalimentario y extraer consecuencias de ello. Tampoco podemos dejar de constatar como 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

² En este sentido, la manipulación de las células madre embrionarias nos acerca 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) afirmó que no es posible con la tecnología existente o qué el hacerlo tenga poco sentido. Véase al respecto Maggie Fox: “Los científicos logran manipular por primera vez los genes de células madre embrionarias”, El País, 10 de febrero de 2003, p. 27.

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 una lado de la balanza (el lado crítico, del que se dice que es incapaz de dar buenas razones, es decir, basadas 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 va obteniendo, ve como 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. De 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, ésta 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 de 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 venido llamando “básicos”. Las nuevas tecnologías de la vida no escapan a esta tendencia, antes bien le son ejemplificadoras.

En cuanto a nuestra tesis misma, no vamos aquí a hacer un resumen detallado de ella. Su objetivo ha sido el de describir y a veces analizar, con mayor o menor acierto, algunos aspectos de las nuevas biotecnologías que hemos considerado dignos de resaltar, y que nos parecen cruciales para entender donde se sitúan en este inicio de milenio. No se le escapa al amable lector las dificultades que esta labor entraña. No fue fácil, y aún tenemos dudas de haberlo logrado con plenitud, decidir que temas abordaríamos y la forma más adecuada para tratarlos. Teníamos claro, eso sí, que era necesario un capítulo histórico introductorio que nos centrara en el tiempo las ideas que han dado lugar a las tecnologías de la vida. También teníamos claro la necesidad de definirlas con precisión, y pese a la dificultad terminológica y de comprensión que para alguien ajeno a estas tecnologías entraña, creímos, y aún lo creemos, que era necesario adentrarse en ellas junto con sus aplicaciones. Ambos aspectos los hemos plasmado en los capítulos primero y segundo de esta tesis.

La inclusión de los capítulos tercero y cuarto quizá merezca una explicación algo mayor, y también más personal. Permítaseme, por tanto, utilizar en este apartado la primera persona del singular. Mi interés por el análisis y gestión de la ciencia y la tecnología tuvo un incremento notable en los años 1994-1995 en los que estuve becado por la Universidad Carlos III de Madrid para realizar un master en esas materias. Interés que fue creciendo por mi vinculación a varios Proyectos de Investigación financiados por la Unión Europea, y en los que el contacto con los gestores del Sistema Público de Investigación y Desarrollo españoles se hacía fundamental para realizar mi trabajo. Ambos aspectos, que por un lado me facilitaban disponer de técnicas de comprensión, y por el otro me permitían tener acceso a fuentes de información privilegiadas, me hicieron contemplar la posibilidad de decir algo acerca del Sistema Público español de Investigación y Desarrollo, y de que lugar ocupaban las nuevas biotecnologías en él. En este sentido, los datos que aporto en el capítulo tercero y cuarto de esta tesis pueden ser útiles a la hora de valorar las verdaderas posibilidades que nuestro país tiene de incorporarlas, o por el contrario de convertirse en meramente receptor de las que otros países

desarrollan. Es decir, y en el fondo, si vamos a ser autosuficientes respecto a las mismas o vamos a depender de lo que las transnacionales nos quieran vender a precios de monopolio.

La inclusión del capítulo quinto en nuestra tesis, que nos muestra los debates que consideramos los más importantes que en torno a las nuevas biotecnologías tienen lugar, a excepción del debate sobre la ética animal que una vez escrito decidimos no incluir por motivos de espacio, no necesita mucha justificación. No se le escapa a nadie que es en la arena del debate público dónde una tecnología gana su legitimación social, y por tanto su posibilidad de desarrollo; pero tampoco se le escapa a nadie que vincular el debate a la aceptación de los criterios propios es una forma de restringirlo y controlarlo, y en el fondo de negarlo. Veremos como esto se da en el que se produce en torno a las nuevas biotecnologías. Por otro lado, la viveza, la complejidad y la finura argumentativa que han alcanzado los debates sobre las nuevas tecnologías de la vida muestran el gran interés que existe sobre las mismas, pero también las controversias y divergencias que se dan en torno a ellas. Lejos de ser aceptadas sin condiciones se exige su regulación y control, así como una mayor presencia de la sociedad civil organizada en las decisiones que se tomen sobre sus desarrollos. Y se exige, porque se temen sus consecuencias negativas no queridas derivadas, sobre todo, de la ampliación de escala que supone su uso industrial. Pero también se temen, por ejemplo, las que puedan tener en aspectos: éticos, económicos, de cambios en las Instituciones sociales existentes, y de aumento de la pobreza del “Tercer mundo”.

Del marco teórico utilizado para elaborar este capítulo constatar que sin atenernos a uno en concreto que nos sirviera de referencia, sí hemos, sin embargo, introducido, para describirlos y explicarlos, los que nos han parecido más importantes. Ello nos ha servido principalmente para dar una panorámica general de los distintos debates tenidos en cuenta, pero también, y de forma más específica, para confrontar los argumentos esgrimidos por los distintos participantes en las controversias que se plantean en torno a las nuevas biotecnologías.

Antes de introducir, aunque de forma sucinta, los modelos teóricos que hemos visto y utilizado en este capítulo, debemos destacar que el carácter horizontal de las nuevas tecnologías de la vida obliga, necesariamente, a un tratamiento multidisciplinar en el que distintas disciplinas de las ciencias naturales y de las ciencias sociales deben tenerse en cuenta. Es por ello que constatamos la existencia de modelos teóricos que señalan la exclusividad de las primeras para comprender estas tecnologías (es el caso, por ejemplo, del positivismo), y en los que predominan los análisis empíricos basados en contextos de experimentación³; pero también la existencia de modelos teóricos propios de distintas ciencias sociales que tienen en común la negación de la exclusividad de los análisis científicos efectuados por las ciencias naturales, y su énfasis, más o menos pronunciado, en qué en los contextos de incertidumbre en que se mueven las nuevas biotecnologías el diálogo entre los distintos sectores que participan, que están afectados o pueden estarlo, y las argumentaciones que éstos aportan, son fundamentales. Es por ello que Finchmann y Ravetz, por ejemplo, declaran: “The need is for a balance, in which scientific uncertainties are managed by prudence and tact, and in which the differing perceptions of the different parties are recognized and respected.” (Finchmann y Ravetz, 1991: 131). Es necesaria, pues, una comprensión de los argumentos utilizados en los distintos debates que explicamos. Es por ello que aparte de describirlos los hemos analizado, e incluso criticado; pero además, y para algunos casos concretos, no hemos podido evitar posicionarnos respecto a ellos. Las teorías provenientes de la disciplina sociológica, como no podría ser de otra forma, son las que hemos utilizado en mayor medida. Lo cual no quiere decir que no hayamos tenido en cuenta otras en determinadas ocasiones. Es el caso, por ejemplo, de la filosofía ética en el debate ético, o de teorías provenientes del derecho al hablar del estatus del embrión.

³ Aunque en éstos no se tienen en cuenta las diferencias profundas que existen entre los experimentos realizados en laboratorios, en las que todas las variables están sujetas a control, y lo que ocurre en la naturaleza, donde es imposible controlar los múltiples factores de azar que se pueden producir. Es en este sentido, que Finchmann y Ravetz apuntan que: “we must be clear about the crucial differences between the style of laboratory science and that involved in controlling hazards.” (Finchmann y Ravetz, 1991: 130).

Iniciamos el capítulo cuarto con el debate que ha tenido y tiene aún lugar en torno al concepto de “riesgo”. No existe de éste un acuerdo teórico en cuanto a su definición, no al menos desde las ciencias sociales⁴, aunque desde las ciencias naturales, y desde una perspectiva positivista, y que oculta su dimensión social, como empresa científica que es, se defina objetivamente como: la probabilidad de un suceso por la magnitud esperada de su consecuencia. El resultado de la medida obtenida constituye un valor que se puede comparar con umbrales de seguridad toxicológicos (peligro para la salud humana) o medioambientales (peligro de contaminación de los recursos naturales), e incluso con umbrales psicológicos de aceptación o aversión al riesgo tomados de una muestra de individuos concretos, que se toman como medida de la percepción de una población determinada. De esta forma el riesgo, una vez operativizado y comparado con umbrales toxicológicos y de percepción, puede ser gestionado a nivel de expertos de forma legítima, puesto que sus actuaciones son objetivas: se basan en su gestión científica. Este proceder tiene como consecuencia la negación de la naturaleza política, y por tanto dialógica, del riesgo, y claro está del riesgo que representan las nuevas biotecnologías.

Esta primera constatación parte de la sociología, y más concretamente remite a uno de los libros fundacionales de la sociología medioambiental, el de Ulrich Beck: *la sociedad del riesgo*. Como señala David Goldblatt se trata de: “One of the most interesting and certainly one of the most idiosyncratic texts written by any social theorist in the last decade” (Goldblatt, 1996:154). La constatación señalada también la podemos ver, en parte, aunque formulada de manera distinta (atravesando tan sólo una parte, la de las premisas, de la crítica efectuada en el párrafo anterior; y refiriéndose a la ciencia y la técnica, y no sólo al tema concreto del riesgo) en la crítica de Martín Heideger a la compresión de la técnica de una forma antropocéntrica e instrumentalista, es decir, como conjunto de instrumentos y utensilios al servicio de los hombres

⁴ Aunque la Encyclopaedia of the Social Sciences ya lo definiera, de forma algo imprecisa, como: “a commonplace that life in its aspect of action involves a liability to error. This liability interpreted to include the occurrence of results entirely unforeseen as well as those imperfectly allowed for, is ordinarily expressed by the remark that men take risk”. En Edwin R.A. Seligman (Ed.): *Encyclopaedia of the Social Sciences*, Ed. Macmillan Company, New York, 1963, Vol. XIII, p. 392.

y el progreso. En este sentido, para Martín Heideger: “Las ciencias y las técnicas se muestran como medios privilegiados de la voluntad de poder que reduce la verdad a la eficacia, el pensamiento al cálculo y lo real a una materia infinitamente operable y explicable” (Hottois, 1999: 357). En efecto, si la materia es infinitamente operable y explicable, entonces las consecuencias de las operaciones efectuadas en ella también son explicables y operables, con el fin de revertir sus efectos negativos y expandir sus efectos positivos. Lo que no es otra cosa que verificar la eficacia del sistema científico y tecnológico para desarrollar el progreso humano con un mínimo coste de efectos negativos, los cuales puede controlar ya que están bajo su dominio. Este planteamiento claramente tecnocrático ya fue denunciado como ideológico por Herbert Marcuse en su crítica al concepto weberiano de “razón técnica”⁵ aplicada a fines. En este sentido, para este autor: “El concepto de razón técnica es quizá el mismo ideología. No sólo su aplicación sino que ya la técnica misma es dominio sobre la naturaleza y sobre los hombres: un dominio metódico, científico, calculado y calculante. No es que determinados fines e intereses de dominio sólo se advengan a la técnica a posteriori y desde fuera, sino que entran ya en la construcción del mismo aparato técnico. La técnica es en cada caso un proyecto histórico-social; en él se proyecta lo que una sociedad y los intereses en ella dominantes tienen el propósito de

⁵ El concepto de “razón técnica” remite en Max Weber a un aumento de la racionalidad, es decir, de la ampliación de los ámbitos sociales que quedan sometidos a los criterios de decisión racional, lo que implica la implantación del tipo de acción racional respecto a fines que afecta tanto la organización de medios como a la elección entre alternativas. Por otra parte, la racionalidad, que es utilizada por Max Weber para definir la forma de actividad económica capitalista, del tráfico social regido por el derecho privado burgués, y de la dominación burocrática, y más concretamente la referida a fines, puede mejorarse a través de la planificación. Ésta, que se concibe como una modalidad superior a la racionalidad con respecto a fines, tiende a instaurar, mejorar o ampliar los sistemas de acción racional mismos. Para ello la institucionalización del progreso científico y técnico es fundamental. Esto trae como consecuencia que la ciencia y tecnología van ocupando espacios cada vez mayores en el ámbito de las decisiones políticas; las cuales se basan cada vez menos en elecciones entre los distintos argumentos ideológicos debatidos, y más en la planificación y gestión tecnocrática. Respecto a esto, y más concretamente sobre como la ciencia y la tecnología son utilizadas como legitimadoras del orden social, ocultando de paso que son ellas mismas ideológicas, y, por tanto, están sujetas a la crítica política en cuanto se utilizan en la toma de decisiones de este ámbito, véase Jürgen Habermas: “Ciencia y Técnica como “Ideología””, En Jürgen Habermas: *Ciencia y Técnica como ideología*, Ed. Tecnos, Madrid, 1986, pp. 53-108.

hacer con los hombres y las cosas. Un tal propósito de domino es material, y en este sentido pertenece a la forma misma de la razón técnica” (Habermas, 1986: 55)⁶.

Existen diversos modelos teóricos respecto al riesgo. De ellos consideramos, sin pretender haberlos tratado todos, lo cual de por sí ya nos obligaría a escribir otra tesis, que hemos tratado los principales en sus aspectos más relevantes. De esta forma, el primer modelo explicado, el del relativismo cultural, se caracteriza por identificar el riesgo como un constructo social. Esto viene a significar en la práctica, que la opinión del experto no es privilegiada respecto a la del lego. El segundo modelo, el positivista, por el contrario, afirma que es posible medir el riesgo objetivamente e ignorar los juicios de valor en él insertos, y, por tanto, cumplir plenamente con el principio científico de neutralidad. Lo que significa que el riesgo medido es objetivo, y se pueden tomar en base a él decisiones totalmente legítimas y adecuadas. Estas afirmaciones no las compartimos, de ahí que dediquemos algunas páginas a criticarlas. El tercer modelo, el procedimental, se sitúa en una posición intermedia de las dos anteriores. En éste tanto los valores aportados por la ciencia como los aportados por otras instituciones son tenidos en cuenta. Es importante señalar que los que suscriben este modelo asumen la existencia de por lo menos un criterio universal con valor explicativo, y de un procedimiento que garantiza la posibilidad de elección entre teorías o paradigmas en competencia. El cuarto modelo que examinamos, el de Jon Elster, se caracteriza principalmente por definir el riesgo por medio de su relación con la incertidumbre⁷, y más concretamente por su reducción a través de mecanismos, como la creencia o las probabilidades subjetivas, que acaban sirviendo como normas para la acción al dar visos de verosimilitud de ocurrencia, aunque no, claro está, de certeza. El quinto modelo teórico que hemos examinado, el de Ulrich Beck, se caracteriza por

⁶ Extraído de Herbert Marcuse: “Industrialisierung und Kapitalismus im Werk Max Weber”, En *Kultur und Gesellschaft, II*, Frankfurt a. M., 1965

⁷ Para Elster: “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).

convertir al riesgo en el elemento definidor de las sociedades desarrolladas actuales. Para este autor el riesgo está inserto en los procesos sociopolíticos de definición, procesos que son abiertos y que afectan globalmente a todo el planeta; y su origen hay que situarlo en los desarrollos científicos y tecnológicos asociados a las formas de producción. Son, por tanto, producto de las actividades del hombre. No es de extrañar, dada la importancia que concede al riesgo Beck, que para él se convierta este concepto en fundamental para entender las sociedades actuales. Su análisis, por tanto, se hace imprescindible para la sociología, para una sociología que debe comprender que las sociedades desarrolladas son sociedades de riesgo; de un riesgo tecnológico y global que las afecta en gran medida, así como afecta a las sociedades en desarrollo que reciben buena parte de las consecuencias no queridas de nuestros sistemas científico-tecnológicos de producción. Entender cómo se produce el riesgo, cuáles son sus procesos sociales de distribución, quienes reclaman la legitimidad de definirlo, y bajo qué modelos lo hacen, cuál es el umbral de control exigido y reclamado en cuanto a tener suficiente seguridad para que no se produzcan, o éstas sean lo menor posible, consecuencias no queridas en las actividades que lo comportan, quienes participan en los distintos debates que en torno a él se dan y desde qué posición lo hacen son algunas de las tareas que la sociología debe proponerse.

Un aspecto fundamental a la hora de abordar el concepto “riesgo” es el de su percepción. En nuestra tesis hemos explicado una coconceptualización de ésta proveniente de la psicología, el llamado paradigma psicométrico. Éste asume que el riesgo es subjetivo e individual, y que puede estar influenciado por factores psicológicos, sociales, institucionales y culturales. También asume que estos factores y sus interrelaciones, o al menos parte de ellos o ellas, pueden ser cuantificados y modelados a fin de iluminar las respuestas de los individuos y sus sociedades frente al azar. La técnica utilizada en sus estudios es la encuesta, a la cual someten a complejos análisis provenientes de la estadística.

El segundo debate que abordamos es el de la ética. Es éste de una gran amplitud de matices y de gran riqueza teórica. En él, como cabría esperar, participan varias disciplinas, sociales o no. Esta pluridisciplinariedad queda patente en el tratamiento que le hemos dado en nuestra tesis. De esta forma, por ejemplo, hemos utilizado teorías como las del estatus embrionario o la referida a los no autónomos, en los casos de diagnóstico y terapia génica, que remiten claramente al derecho, pero también a la bioética; o teorías provenientes de las ciencias sociales, como las de elección racional y la de juegos, que nos han servido para elaborar un hipotético escenario proyectivo de algunas de las consecuencias de permitir la eugenesia positiva en embriones y en adultos en el futuro⁸. No debemos olvidar tampoco que existen principios bioéticos muy importantes, como pueden ser: el principio de integridad o identidad genética, el principio de consentimiento libre e informado y el principio de confidencialidad. Estos principios los hemos explicitado también en nuestra tesis. Así como también hemos atendido, desde sus aportaciones al debate ético de las nuevas tecnologías, a principios clásicos de la ética: libertad, igualdad, igualdad de oportunidades, autonomía, justicia, la utilización del hombre, como ya expresaba Kant en su *fundamentación de la metafísica de las costumbres*, siempre como medio y nunca como fin.

En el debate económico, tercer debate que hemos tratado; más que un marco teórico preciso lo que hemos utilizado ha sido la metodología hermeneútica en un sentido dialéctico, y ello a fin de desarrollar algunas ideas. Las nuevas biotecnologías son ejemplificadoras de las relaciones crecientes entre ciencia y técnica. En este sentido: “Lo que es significativo es que, por sus profundas raíces, la actividad tecnológica contemporánea esté ligada a la práctica científica. Por otra parte, esta unión es tanto más patente cuanto más se la asocia a formas más avanzadas de tecnología (...) Aparentemente, la frontera entre ciencia y tecnología se difumina cada vez más” (Hottois, 1991: 23). Es precisamente esta proximidad, unida al entrelazamiento

⁸ Apunta Anthony Giddens: “como enfoque para el análisis social, la teoría de juegos es probablemente la que mejor funciona cuando se aplica a situaciones (...) en las que los agentes tratan de anticiparse a otros, aun sabiendo perfectamente que esos otros están intentando anticiparse a ellos” (Giddens, 1999: 123).

entre técnica y producción industrial, el que convierte a la ciencia actual en elemento estratégico de las empresas productoras de bienes, pero también de las de servicios. Esto en sí no es ninguna novedad, dado el carácter operativo de la naturaleza que está en el origen de tales instituciones (Ciencia, Tecnología e Industria), y que por tanto comparten este fin sustancial que las define, pero sí desenmascara la pureza supuesta de la ciencia basada en la idea de que ésta sólo busca conocer⁹. Por otra parte, la proximidad referida tiene también importantes consecuencias. Primero, son las empresas, principalmente multinacionales, las que con sus inversiones en los laboratorios, públicos o no, acaban por definir las líneas de investigación a seguir. Segundo, las empresas se garantizan en sus contratos que todo descubrimiento susceptible de ser protegido por el régimen de patentes, u otro de defensa de la propiedad intelectual, no sea publicado hasta la obtención de la protección. Esto entorpece las comunicaciones científicas en gran medida, y puede suponer en un período de tiempo no muy lejano la desaparición de los canales clásicos de divulgación de la ciencia, canales que son vitales para el avance de la ciencia. Tercero, la existencia de monopolios temporales de técnicas de investigación, o de aparatos imprescindibles para realizar la misma, puede retrasar e incluso no permitir investigaciones muy necesarias desde un punto de vista del progreso en ámbitos tan valorados socialmente como los de la salud humana o medioambientales, por poner dos ejemplos. Es por ello que con alguna extensión analizamos lo que supone el régimen de patentes, y si éste, como sus principios defienden, hace evolucionar el “estado del arte” del sistema técnico-científico, o no.

El último debate que tratamos es el que trata sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “tercer mundo”. Nos hemos adherido aquí a una posición crítica que nace de la constatación de las repercusiones negativas que para los países subdesarrollados ha tenido

⁹ Recordemos que: “la ciencia llamada <<pura>> se situaba en una esfera de verdad *más allá de toda consideración práctica y moral*, es decir, ni buena ni mala. Sólo su uso pondría de relieve la apreciación moral. En pocas palabras, el problema de la elección y de la responsabilidad ética no surgiría más que en relación con la ciencia llamada <<aplicada>>, entendida como técnica” (Hottois, 1991: 14).

la “revolución verde”. Lo que nos ha interesado remarcar es que las nuevas tecnologías de la vida, más potentes que las anteriores, aplicadas a los campos de los países del tercer mundo pueden acabar siendo, de no mediar el principio de prudencia¹⁰ en su introducción, un desastre ecológico y social de magnitudes inimaginables. No olvidamos, sin embargo, señalar las promesas que en torno a estas nuevas biotecnologías aplicadas a la agricultura se vienen haciendo, como en su momento se hicieron alrededor de la “revolución verde”. Las últimas no han logrado su objetivo de acabar con el hambre en el mundo, pero si han aumentado de forma alarmante los problemas medioambientales y de distribución de la riqueza; las segundas empiezan a dar casos, aún esporádicos, como los de la contaminación genética, que pueden ser un primer aviso. Pero hay más, las nuevas tecnologías de la vida pueden hacer que los productos de los campos del tercer mundo (como en los casos del azúcar, el cacao o la amapola) sean sustituidos por productos similares o sucedáneos producidos en las fábricas del primer mundo. Esto representa más pobreza para países que tienen como fuente principal de riqueza esos productos agrícolas. No olvidemos tampoco mencionar a quienes controlan las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo”, que no son otras que las transnacionales del los países desarrollados, y lo que supone este control¹¹. Más que utilizar una teoría u otra para describir esta situación, lo que nos ha interesado es dar cuenta de ella.

¹⁰ El principio de prudencia o *phrónesis*: “trata de una virtud intelectual que ayuda al ejercicio y al desarrollo de otras virtudes morales (tales como la templanza, el coraje, la justicia, la magnanimidad, etc.); [además] permite la aplicación de la razón al dominio de lo práctico, de lo no necesario, de lo incierto. No se expresa en la demostración lógica, sino en la argumentación y en la aptitud para la deliberación. Ayuda a discernir la mejor de las soluciones posibles en una situación siempre irreduciblemente particular.” (Hottois, 1999: 30). Este principio de prudencia se ha convertido en realción a la ciencia y tecnología en un principio precautorio, que como señala Brian Wynne: “The standard way of defining the precautionary principle is to say that, because evidence of harm is uncertain but the error costs are very large, in some circumstances it is justifiable to intervene to protect the environment before all the evidence for a more confirmed cause-effect relationship can be gathered if it is ‘reasonably anticipated’ that an environmental discharge will be irreversible harmful.” (Wynne, 1997: 180).

¹¹ Como ya dijo el tribunal Russell II reunido, en abril de 1974, en Roma: “El tribunal ha comprobado que los Estados Unidos de América y las empresas extranjeras que ejercen actividades en América Latina por intermedio de filiales o de sociedades sobre cuyo capital y operaciones ejercen un control dominante –y entre las cuales las más fuertes y más poderosas son norteamericanas- han tenido y tienen, con la complicidad de las clases opresoras de América Latina, una intervención permanente a fin de asegurarse los más altos beneficios económicos y la dominación estratégica. Tal intervención se traduce [entre otras cosas] en la implantación forzada de la tecnología, que impide la existencia de una investigación y de un

El último capítulo lo dedicamos a examinar la opinión pública de los españoles sobre las nuevas biotecnologías en la última década del siglo XX. Con ello hemos querido resaltar que piensan sobre las mismas: si las aceptan o rechazan, y sobre la base de qué razones se producen estas aceptaciones o rechazos; si las conocen y están bien informados sobre ellas; sobre qué aplicaciones se pronuncian, y en qué sentido lo hacen; si sienten temor por algunas de ellas, y cuáles son; si reclaman mayor regulación, control y participación en sus desarrollos, y a quienes otorgan estas responsabilidades; si conocen las leyes e instituciones existentes que ya permiten esto; en quienes confían para informarse y formar su opinión, y en quienes no confían, etc.

Para analizar la opinión pública de los españoles sobre las nuevas biotecnologías hemos utilizado algunos estudios, concretamente cuatro, que se realizaron en nuestro país en la década de los noventa. Es interesante resaltar la variedad de técnicas de investigación de estos estudios: técnicas cualitativas (entrevistas en profundidad, talleres de trabajo y grupos de discusión), y técnicas cuantitativas (encuestas). Las primeras se analizaron, básicamente, de una forma hermeneútica, es el caso de los grupos de discusión y los talleres de trabajo; pero también se elaboraron tablas conceptuales que permitían, entre otras cosas, establecer la información que los entrevistados tenían acerca de las nuevas biotecnologías y sus problemáticas, y la “calidad” de la opinión dada por ellos, como en el caso de las entrevistas en profundidad. Las encuestas han sido analizadas en base a procedimientos estadísticos que nos han permitido obtener, junto a los autores de las mismas, algunas observaciones interesantes. Por último, en base a estos estudios nos ha sido posible realizar un modelo teórico aproximativo de la opinión del lego español sobre estas nuevas biotecnologías de la vida, así como tres modelos teóricos más, también aproximativos, sobre las opiniones de los distintos participantes en los debates que sobre estas nuevas tecnologías de la vida tenían lugar en nuestro país en la primera parte de la década de los 90.

desarrollo nacionales y grava fuertemente la balanza de pagos, con la remisión de los derechos de patentes y regalías..." (Cortázar, 2002: 91-92).

Respecto a las conclusiones, hemos pensado mucho sobre la conveniencia de incluirlas en un apartado aparte al final de la tesis, o sobre si era mejor elaborarlas a medida que iban surgiendo al abordar las distintas temáticas. Finalmente optamos por dicha opción, siendo conscientes de que ello obliga al lector a encontrarlas en diálogo con nosotros, lo que representa un esfuerzo por su parte que no esperamos defraudar. Por otro lado, creemos que separar las conclusiones de los contextos argumentales en que surgen limita de manera sustancial su poder de síntesis explicativa, y elaborarlas de nuevo como resumen de lo ya dicho no aporta nada nuevo. Por último, no pretendemos sentar cátedra, y con la elaboración de unas conclusiones generales se corría el riesgo de hacerlo, en temas tan debatidos y que seguirán siéndolo por mucho tiempo. Lejos de ello, nuestra intención es que de la lectura de esta tesis surjan nuevas dudas, y que las mismas alimenten las ansias del lector para seguir profundizando en las cuestiones relacionadas con las nuevas tecnologías de la vida.

Lo dicho en esta introducción no abarca toda la tesis, como ésta tampoco abarca lo que se ha dicho, y mucho menos lo que se puede decir, sobre las nuevas biotecnologías. Pero con todo, si creemos haber conseguido una aproximación que nos ayuda a comprenderlas mejor, y, por tanto, a tomar mejores decisiones en torno a ellas. Si de alguna forma hemos logrado esto, entonces el trabajo realizado para escribir estas páginas habrá merecido la pena.

CAPÍTULO PRIMERO

INTRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS

1. Introducción

Lo primero a destacar, a la hora de realizar una introducción histórica de las nuevas biotecnologías, es el desarrollo que han alcanzado en tan corto espacio de tiempo. Sorprende que en aproximadamente cincuenta años¹² las posibilidades de manipulación de la vida hayan llegado a un punto en el que le es posible al hombre modificarla y adaptarla a sus necesidades. Este proceso que no es nuevo, ya las biotecnologías tradicionales¹³ modificaban y adaptaban determinadas formas de vida, tiene características propias que lo diferencian de lo que venía sucediendo con anterioridad. Éstas son: su mayor potencial y exactitud en las operaciones que sobre la materia viva se realizan, pero también el tiempo mucho menor que se necesita para obtener los resultados deseados. Ello no es óbice, claro está, para que no todo lo que se quiera hacer pueda o deba hacerse. Existen aún lagunas de conocimiento sobre determinados aspectos del funcionamiento y función de muchos genes, e incluso todavía no se han descubierto muchos de ellos. Además existen preocupaciones sociales y éticas, relacionadas sobre todo con la manipulación genética en seres humanos¹⁴. Tampoco debemos olvidar que la aplicación de las

¹² En 1953 James D. Watson y Francis H.C.Crick presentaron a la comunidad científica sus ya clásicos artículos: “Estructura molecular de los ácidos nucleicos”; y “Implicaciones genéticas de la estructura del ácido desoxirribonucleico”. En Nature, Nº 171, pp. 737-738 y 964-967.

¹³ Entendemos aquí por biotecnologías tradicionales aquellas cuyo origen esta basado en las técnicas tradicionales de selección de semillas, realización de injertos en agricultura, selección de sementales y hembras en ganadería, fermentaciones en la industria alimenticia y de bebidas. Es decir, todas aquellas biotecnologías que no se basan en las nuevas técnicas de ADN recombinante, fusión celular y los nuevos procedimientos de la bioingeniería.

¹⁴ De las preocupaciones sociales que las nuevas biotecnologías originan destacamos, por citar algunos ejemplos significativos, las que señalan los posibles cambios en instituciones como la familia, la sanidad, y los seguros de enfermedad y vida. En cuanto a las preocupaciones éticas, éstas derivan de las posibilidades que las nuevas biotecnologías abren a la eugenesia, y en su incidencia en principios básicos tan importantes como: la autonomía, la dignidad, la integridad de la persona, el evitar su vulnerabilidad.

nuevas biotecnologías plantea en sus usos incertidumbres y riesgos difícilmente mensurables, por ejemplo, para: el medio ambiente; la salud humana; la estructura económica en sectores económicos tan importantes como la agricultura, ganadería, alimentación, industria farmacéutica, química, etc.; y las reglas de juego entre aseguradoras y asegurados, empleadores y empleados.

Existe cierto proceso de continuidad entre las biotecnologías tradicionales y las nuevas, por lo menos en cuanto a los objetivos que persiguen y en la combinación de fuentes de vida en las que se basan, aunque las últimas se diferencian de las primeras en los medios que utilizan para alcanzar sus objetivos. En efecto, mientras las biotecnologías tradicionales se basan en la observación y experiencia tradicional de comunidades agrícolas y ganaderas, pero también artesanas¹⁵, las nuevas biotecnologías dependen del conocimiento científico y tecnológico para poder desarrollarse. Así, éstas 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.

Las nuevas biotecnologías son sustancialmente diferentes a las tradicionales en cuanto a: extensión, potencialidad, reducción de tiempo en cuanto a logro de objetivos, dependencia del conocimiento científico y tecnológico; y equiparables en cuanto a objetivos y filosofía de intercambio de formas de vida para mejorar los rendimientos que el hombre obtiene de ellas. Es por ello que la breve introducción histórica que viene a continuación se inicia con la génesis de

Un buen análisis de estos principios, y que además intenta desarrollar un modelo conceptual que los abarque, y permita su utilización conjunta en un marco legal que controle a las nuevas biotecnologías, lo encontramos en Jacob Dahl Renchtorff: "Basic Principles in Bioethics and Biolaw". En <http://www.bn.edu/wcp/papers/bioe/bioerend.htm>.

¹⁵ Aquí nos referimos a producciones de alimentos tradicionales como el queso, el yogur o el pan.

las biotecnologías tradicionales, y se continúa con los orígenes y desarrollos de la genética moderna.

2. Génesis de la biotecnología

La génesis de la biotecnología es casi tan antigua como la propia cultura humana. Con ello queremos decir que la utilización de ésta fue fundamental para que el hombre sustituyera su estado de cazador, recolector y nómada por el de agricultor, ganadero y sedentario. Es decir, si tal transformación fue posible fue gracias en buena parte a la biotecnología. En efecto, la selección de plantas y semillas para las cosechas, y la domesticación y posterior cruce de animales domésticos y de ganadería constituyen ya utilizaciones biotecnológicas que a pesar de ser rudimentarias son de una importancia extraordinaria para la humanidad. Otros ejemplos, algo posteriores a estos primeros momentos de manipulación de la vida por parte del hombre, los constituyen los procesos de fabricación de algunos productos alimenticios como el queso y el yogur a partir de la leche, el pan a partir de la harina y la levadura, el vino y la cerveza a partir de la fermentación del vino y la cebada respectivamente.

Los procesos citados se fueron perfeccionando hasta crear plantas, animales y alimentos adecuados a las necesidades humanas. No podemos olvidar que productos tan importantes como el trigo, la patata, la cebada; o animales como el perro, el cerdo y la vaca, tal y como los conocemos hoy en día, son fruto de la intervención del hombre en sus genomas originales a través de biotecnologías tradicionales.¹⁶ Esta intervención, no del todo consciente en muchos

¹⁶ Esta breve relación no agota, por supuesto, los productos tanto animales como vegetales que son fruto de la intervención del hombre en su medio ambiente mediante la aplicación de biotecnologías tradicionales. En realidad, productos tan importantes como el trigo, el maíz, la cebada, la patata, etc., tal y como los conocemos, son el resultado de la manipulación del hombre a través de generaciones de agricultores. Lo mismo podemos decir de animales domésticos o de animales como el cerdo, la vaca, la gallina, la cabra, etc. que surgen de los cruces y selecciones hechas por generaciones de ganaderos. En este sentido, podemos decir que los resultados de las biotecnologías tradicionales ocupan en las sociedades humanas desarrolladas el lugar de la “naturaleza natural”. Entendiendo por ésta la que se desarrolla sin intervención del hombre.

casos, basada en la observación y muchas pequeñas pruebas combinatorias de ensayo y error, durante generaciones de agricultores, ganaderos, y artesanos de la alimentación obtuvo buenos resultados durante mucho tiempo. 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 situó a finales del siglo XX y principios del XXI.

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 1859 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 sólo un par de las figuras 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).

3. Los orígenes de la genética moderna (1858-1900)¹⁷

No podemos seguir con nuestro deambular por la historia que nos conduce a las nuevas biotecnologías sin hacer una parada en los estudios sobre la evolución y la herencia que, desde mediados del siglo pasado hasta principios del actual, han sido decisivos para una nueva visión de la genética. Decir que ésta y las nuevas biotecnologías son uña y carne es poco. Sin aquélla, simplemente, las nuevas biotecnologías no existirían.

Como punto de partida de la genética moderna podemos considerar (aunque sea tan sólo a efectos prácticos, y tomando 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 (1809-1882) 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.

Pero veamos con más detalle las aportaciones de estos tres autores, y el porque para nosotros sus trabajos deben considerarse como germinales de la genética moderna. Ello nos permitirá vislumbrar en qué contexto histórico y de pensamiento nacieron las ideas que dieron un empuje decisivo a las ciencias genéticas, las mismas que con el tiempo producirán lo que llamamos nuevas biotecnologías.

¹⁷ Iniciamos este apartado con la fecha en que Charles Darwin y Alfred Russell Wallace presentaron al mismo tiempo, y en la misma revista londinense, artículos sobre la teoría de la evolución. El libro de Darwin sobre el origen de las especies apareció en 1859. La fecha final que indicamos se debe a que en ese año, en tres lugares distintos, tres científicos que nada tenían que ver entre ellos (Carl Correns en Tübingen, Erich von Tschermak en Viena y Hugo de Vries en Ámsterdam) redescubrieron el 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. Este redescubrimiento daría un impulso muy grande al desarrollo de la genética. Recordemos también que el nombre de genética como ciencia apareció por primera vez en 1906, a propuesta de Wiliam Bateson, en la *III Conference on Hybridization and Plant Breeding* que se celebró en Londres.

3.1. Las aportaciones de Charles Robert Darwin a la genética moderna

En primer lugar, debemos señalar que la teoría de la evolución, que suele considerarse como punto de partida de la genética de poblaciones, no se inicia como vulgarmente suele creerse, con los trabajos sobre la “lucha por la existencia” de Charles Robert Darwin y el naturalista Alfred Russel Wallace (1823-1913), publicados en la revista de la *Linnean Society* en 1858.¹⁸ La teoría de la evolución por selección natural, en la que las especies se van modificando gradualmente hasta convertirse en nuevas especies, venía siendo propuesta desde principios del siglo XIX. El propio Darwin en su libro más famoso: *On the origin of species by means of natural selection* hace un resumen histórico del desarrollo de las ideas acerca del origen de las especies anteriores a la primera edición de su obra. Comentando 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, subsiguentemente, en 1815, en la *Introducción a su Historie Naturel des Animaux sans Vertébres*. En estas obras sostuvo la doctrina de que todas las especies, incluso el hombre, han descendido de otras especies” (Darwin, 1974: 6).

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 científica 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 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

¹⁸ Estos trabajos están muy influenciados por la obra de Thomas Robert Malthus: *An essay on the principle of populations*, publicada por primera vez en 1798.

este manojo de conocimientos y que él denominó la <<selección natural>>“ (Perinat y Lemkow, 1983: 14).

Llegados a este punto nos interesa retroceder un tanto en el tiempo a fin de significar los orígenes de los conceptos fundamentales de la teoría de la selección natural, sin los cuales ésta no habría podido desarrollarse. Los mismos 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 la descendencia” (Rose et al., 1983: 19).

El concepto de “**especie**”(1) ya era comprendido en la antigüedad. La observación de que dos animales de distinto sexo y semejantes se unen en una cópula, y que tiempo después la hembra pare un animal de características similares a ella y al macho; la observación de que ello ocurre solo en animales de apariencias semejantes, como en el propio caso de los humanos, hizo reflexionar al hombre sobre las diferencias entre distintos animales, en como éstas condicionan con quien se aparean éstos, y en que es lo que reproducen. Nace así el concepto de “especie”. Sin embargo, no fue hasta el siglo XVII, coincidiendo con una base más moderna y científica del concepto, que se llegó a la conclusión de que la reproducción no puede darse entre especies diferentes, y de que la vida no puede nacer de la materia inerte. En este sentido: “La tendencia general del pensamiento del siglo XVII, en lo que ataña a la materia viviente, era distinguir a ésta tajantemente de la materia inerte; de hecho, consistía en confinar lo vivo dentro de las secuencias inmutables de cada especie” (Hall, 1985: 261).

Hasta ese momento histórico la mitología y los relatos de viajeros estaban llenos de animales híbridos (sátiro, centauros, pegasos, esfinges, dragones, etc.) cuyo origen se situaba en los cruces entre distintas especies. También se creía firmemente que los gusanos, insectos, parásitos y plantas sin flores nacían por generación espontánea y estaban situados entre lo muerto y lo vivo, pues nacían de la putrefacción de materia viva.¹⁹ Estos relatos gozaban de una gran credibilidad popular, incluso por parte de naturalistas y médicos.

Dos son los aspectos que influyeron en la teoría Darwinista del concepto de “especie” que debemos destacar. El primero de ellos, de carácter positivo, es lo fundamental de la aceptación por parte de la comunidad científica, que ya se venía produciendo sobre todo a partir del siglo XVIII, de las hipótesis de que las especies son diferentes entre sí, relativamente estables y no se entrecruzan. El segundo, de carácter negativo, es la excesiva rigidez e inalterabilidad del modelo, modelo que se preocupó más de una clasificación definitiva de las especies que de descubrir como surgían éstas.

El concepto de “transformación de las especies”(2) surge lentamente durante los siglos XVIII y XIX en el pensamiento intelectual europeo como contraposición de la idea de

¹⁹ No olvidemos que hasta el siglo XVII las cosas vivas se dividían en cuatro grandes grupos: 1) Las que se producían espontáneamente de la materia muerta, por lo general en estado de putrefacción; 2) plantas; 3) animales; 4) el hombre. La teoría de la generación espontánea se pondría en entredicho por investigadores médicos tan importantes como el inglés William Harvey (1578-1657) que en: *Sobre la generación de animales*, escrita en 1651, decía: "...muchos animales, especialmente insectos, nacen y se propagan a partir de elementos y simientes tan pequeños que son invisibles (como átomos volando en el aire), esparcidos y dispersos aquí y allá por los vientos; y pese a ello, se supone que estos animales han nacido espontáneamente, o de la descomposición, porque sus huevos no se ven en ninguna parte". En Robert Willis, *Works of W. Harvey*, Londres 1857, p. 321. Citado por Rupert Hall: *La revolución científica 1500-1750*, Ed. Crítica, Barcelona, 1985, p. 259. El médico italiano Francisco Redi (1626-1678) sería otro de los autores que contribuirían a la desaparición de la escena científica de la teoría de la generación espontánea. Redi a través de experimentos simples pudo probar, por ejemplo, que la carne putrefacta solo generaba gusanos si se permitía que en la misma se posaran moscas; y que era de los huevos (crisálidas según el lenguaje actual), que procedían de las larvas, de los que salían moscas. Esto le llevó a la conclusión de que todos los tipos de plantas y animales nacen exclusivamente de simientes de plantas y animales del mismo género, y que ésta es la forma en la que se preserva cada especie. Fue Louis Pasteur quien ya en el siglo XIX demostró de forma rigurosa y científica que la vida sólo surgió de la vida y que, por tanto, la generación espontánea no existía.

“inmutabilidad de las especies” que fijaba el Antiguo Testamento en el libro bíblico del génesis.²⁰

A este cambio de conceptualización no es ajeno el profundo cambio social que produjo la incipiente revolución industrial, y el consiguiente paso de una sociedad feudal a una capitalista. La creencia en un progreso del hombre y su sociedad hacia la perfección condujo a interpretar los hallazgos de fósiles como muestras evidentes de una evolución desde formas primitivas e imperfectas a superiores y perfectas. Por supuesto, la más perfecta de todas éstas era el hombre. En el sentido aquí apuntado la teoría evolucionista que recoge el concepto de “transformación de las especies”: “representa, en cierto sentido, la apoteosis de una visión burguesa del mundo, así como su subsiguiente desarrollo refleja las contradicciones de esa visión del mundo. La descomposición del antiguo orden feudal estático y su sustitución por un capitalismo en continuo cambio y desarrollo contribuyó a introducir el concepto de mutabilidad en el campo de la biología” (Lewontin et al., 1987: 67).

El máximo representante de estas ideas de cambio, de evolución de las formas toscas hacia formas perfectas, fue Jean Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829). Lamarck, inventor de la palabra biología, fue el primero en proponer una teoría sobre la naturaleza dinámica y cambiante de las especies. Para Lamarck la transformación (evolución) se producía a través de un proceso lineal que iba de lo más sencillo a lo más complejo, de lo

²⁰ De la idea de inmutabilidad de las especies en la Biblia son significativos los siguientes versículos extraídos del propio génesis: “20. Dijo Elohim después <<pululen las aguas en un pulular de animales vivientes y vuelen los volátiles sobre la tierra, por la superficie del firmamento de los cielos>>. 21. Creo, pues, Elohim los grandes cetáceos, y todo animal vivo que bulle de que pululan las aguas, conforme a su especie. Y vio Elohim que estaba bien. 22. Elohim los bendijo, diciendo: <<procread y multiplicaos y henchid las aguas de los mares y multiplíquense las aves en la tierra>>. 23. Y atardeció y luego amaneció: día quinto. 24. Dijo Elohim después: <<Producá la tierra animales vivientes conforme a su especie: ganado, reptiles y bestias salvajes con arreglo a su especie>>. y así fue. 25. Hizo, pues, Elohim las bestias salvajes conforme a su especie, los ganados con arreglo a su especie y todos los reptiles del campo según su especie. Y vio Elohim que estaba bien. Entonces dijo Elohim <<Hagamos al hombre a imagen nuestra, a nuestra semejanza, para que dominen en los peces del mar, y en las aves del cielo, y en los ganados, y en todas las bestias salvajes y en todos los reptiles que reptan sobre la tierra>>. 27. Creó, pues, Elohim al hombre a imagen suya...”. Fragmentos extraídos de *La Biblia, Libro del Génesis*, Cáp. 1º, versículos 20-27, Ed. Salvat, Madrid, 1980.

más rudimentario a lo más perfecto.²¹ Para él no había falsas salidas en la evolución, ni siquiera vacilaciones o ramas laterales que dieran lugar a distintas especies. Su teoría implicaba que los organismos iban adaptándose a las necesidades impuestas por el ambiente por medio de cambios en sus caracteres. Según Lamarck estos cambios se adquirían, en mayor medida, por medio del esfuerzo habitual que los organismos hacían para perfeccionar las características que mejor se adaptaban al medio en que vivían, y en menor medida: “por la acción directa de las condiciones físicas de la vida y el cruzamiento de formas ya existentes” (Darwin, 1974: 6-7). Los cambios que más favorecían al organismo en su relación con el ambiente eran transmitidos a las siguientes generaciones.

En resumen, el modelo de Lamarck supone que: “a) la modificación del fenotipo puede ocurrir por adaptación al ambiente; b) tales adaptaciones pueden ser genéticamente fijadas y transmitidas a la descendencia; c) una vez transmitidas, son mantenidas después a no ser que se presente una nueva oportunidad para la <<perfectibilidad>>“ (Rose et al., 1983: 24).

Pese a su coherencia, el modelo presenta graves inconvenientes al no ofrecer una explicación coherente sobre: la permanencia de especies durante largo períodos de tiempo, la existencia de propiedades beneficiosas para una especie pero no para los individuos que la conforman, y la existencia de tanta variedad de especies en los mismos ambientes; cuando lo que cabría esperar es que todas ellas evolucionaran hacia un organismo común que fuera perfecto para ese ambiente. Con todo, lo más deficiente de este modelo se sitúa en su insuficiencia teórica a la hora de explicar como se produce el cambio evolutivo.

De los coetáneos de Lamarck sólo Auguste de Saint-Hilaire (1799-1853) defendió las ideas evolucionistas de aquél; aunque introduciendo algunas modificaciones, en el sentido de que la evolución favorable se produce por la desaparición de los organismos que hubieran

²¹ También para Erasmus Darwin (1731-1802) la evolución era un permanente cambio progresivo y ascendente que conducía a un futuro siempre más harmónico y perfecto.

sufrido cambios perjudiciales como respuesta a un medio determinado. El mayor crítico que tuvieron las ideas evolucionistas de Lamarck y Saint-Hilaire fue Georges Cuvier (1769-1832), fundador de la anatomía comparada y de la paleontología.

El concepto de la “**competencia entre individuos**” (3) supuso abandonar la idea Lamarcksiana de que las especies se organizaban en una cadena continua de perfeccionamiento, y sustituirla por la de que las especies se extendían como un árbol o arbusto, es decir, en ramas procedentes de un ancestro común que les servía de tronco. Esto tuvo la importante consecuencia de que el hombre dejó de ser la especie situada al final de una cadena de perfección evolutiva, y pasó a ocupar el extremo final de una de las muchas ramas de la evolución existentes.

Por otro lado, para que el concepto de “competencia entre individuos” tuviera sentido fue necesario establecer un modelo explicativo, diferente al propuesto por Lamarck, que explicara la conservación de las especies mejor adaptadas. Es precisamente la configuración de este modelo lo que Charles Darwin aporta a los orígenes de la genética moderna.

Es sobradamente conocido que la idea del proceso de selección que lleva a la evolución a través de la lucha, reproducción y supervivencia diferencial la extrajo Darwin del ensayo del reverendo Thomas Robert Malthus (1766-1834) sobre las poblaciones humanas, ensayó que leyó el autor del “origen de las especies” en octubre de 1838.²² Pero esta nueva teoría sería inútil sin su contraste con los datos concretos que Darwin obtuvo a través de su propia observación de poblaciones domésticas y silvestres. Destacar que si para el caso de las poblaciones domésticas las observaciones empíricas realizadas por los ganaderos sobre los

²² Comenta al respecto: “En el capítulo siguiente se examinará la lucha por la existencia entre todos los seres orgánicos a través del mundo, lo que sigue inevitablemente de la elevada razón geométrica de su aumento. Ésta es la doctrina de Malthus, aplicada al conjunto de los reinos animal y vegetal” (Darwin, 1974: 25).

animales domésticos constituían el punto de partida; para el caso de las poblaciones silvestres las observaciones provenían de las propias experiencias del autor del “origen de las especies”, observaciones basadas en la exploración y recolección de organismos en las nuevas colonias inglesas. Téngase en cuenta al respecto que, en gran medida, las especies del “Nuevo Mundo” eran desconocidas, y por tanto podían ser estudiadas, clasificadas, examinadas en sus relaciones sin los perjuicios que acompañaban la realización de tales tareas en los organismos más familiares que se encontraban en Europa.

El “**origen de la variación**”⁽⁴⁾ siguió siendo un misterio para Darwin²³ y sus seguidores. Los cuales, sin embargo, emitieron algunas hipótesis generales respecto al mecanismo de la reproducción. El debate se estableció en torno a si la variación se producía de forma continua a través de pequeñas gradaciones, o era fruto de saltos discontinuos. Los partidarios de Darwin, Francis Galton y Thomas Huxley, entre otros, argumentaron a favor de la herencia discontinua y cualitativa debido a que los resultados empíricos sugerían que las grandes diferencias en un carácter eran heredadas y no diluidas por la exogamia, pero las pequeñas diferencias pronto eran diluidas y desaparecían. Darwin adoptó al respecto una posición que implicaba una asunción de herencia intermedia. Ésta, al tomar en consideración las implicaciones de la dilución en los cruces intermedios, incurrió en la asunción lamarckiana de la herencia de los caracteres adquiridos como medio estabilizador de la variación.

3.2. Las aportaciones de Johan Gregor Mendel a la genética moderna

A Johan Gregor Mendel (1822-1884), monje agustino austriaco, se le considera, no sin razón, el padre de la genética clásica. Son de sobras conocidos los experimentos que Mendel

²³ Para este autor: “Nuestra ignorancia de las leyes de variación es profunda. Ni en un solo caso entre ciento podemos pretender señalar una causa cualquiera por la que ésta o aquella parte haya variado. Pero siempre que tenemos medios de establecer comparación, parece que han obrado las mismas leyes al producir las más pequeñas diferencias entre variedades de la misma especie y las diferencias mayores entre especies del mismo género.” (Darwin, 1974: 246).

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 la pureza de las 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 como 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.²⁴ También cruzó individuos de líneas puras diferentes y estudió la descendencia de estos cruces.²⁵

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.²⁶

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

²⁴ 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.

²⁵ Esto lo llevó 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.

²⁶ 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.

polen y óvulos en las plantas (en los animales se habla de esperma 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 como 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 particularizada y no mezclada o fundida;
2. no se produce ningún cambio consistente entre generaciones;

3. la herencia no se produce de forma determinista pudiéndose establecer 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 generación²⁷.

Que la herencia sea por genes particulados y no ocurra a través de la mezcla o fundición de genes(1) tiene una importancia extraordinaria. En una herencia basada en la mezcla o fundición de genes las variantes se irían perdiendo gradualmente, a medida que se fuera produciendo dicha mezcla o fundición. Sin embargo, en una herencia producto de genes particulados las variantes se conservan.²⁸

La hipótesis de la herencia mezclada o fundida venía a decir que los caracteres poseídos por la descendencia eran una mezcla de los caracteres de los progenitores. De ser cierta esta hipótesis, en el experimento de Mendel que se ha descrito los tamaños de la primera generación de plantas habrían sido intermedios y, sin embargo, fueron altos. Lo que demostró con éste y otros experimentos el monje de Brünn fue que existían factores (genes) dominantes. Más allá de este hecho, que no siempre se cumple²⁹, lo importante es que, incluso cuando existe una mezcla del aspecto de los progenitores en la descendencia, no existe una mezcla de genes. De existir significaría que sería posible la mezcla entre un gen “T” y un gen “t” que diera como resultado un gen “t1”, que sería intermedio de los dos genes anteriores, lo cual no ocurre nunca. En realidad los genes “T” y “t” no se funden, por lo que podemos decir que son genes particulados.

²⁷ La consecuencia de esta implicación es la refutación del modelo Lamarckiano de herencia.

²⁸ Para una explicación más detallada de lo que aquí decimos véase Mark Ridley: “La evolución y sus problemas”, pp. 32-39, Ed. Pirámide, Madrid, 1987.

²⁹ De hecho, hay ocasiones en que no existe dominancia completa entre pares de genes, o la dominancia simplemente no existe. Es el caso, por ejemplo, de los genotipos heterocigóticos.

El que no se produzca ningún cambio consistente entre generaciones(2) quiere decir que el proceso de la herencia por sí sólo no produce cambios direccionales en el transcurso del tiempo. En efecto, si volvemos al experimento de Mendel y contabilizamos las frecuencias de los distintos genes en las sucesivas generaciones podemos observar como las frecuencias permanecen constantes. Esto viene a señalar que en el proceso de herencia mendeliana pura la población permanece igual, no produciéndose ningún tipo de cambio evolutivo. Es decir: “Se puede demostrar matemáticamente que las proporciones de genotipos se mantendrán constantes, esto constituye lo que se llama el equilibrio de Hardy-Weinberg. Tanto si consideramos genes como genotipos, la población es constante. Por tanto, la herencia por sí sola no produce evolución” (Ridley, 1987: 34).

Que la herencia no se produzca de forma determinista pudiéndose establecer estadísticamente(3) nos señala que la proporción de gametos, y la combinación de éstos en vistas a formar nuevos individuos, son procesos susceptibles de ser tratados estadísticamente. En primer lugar, para el caso de la planta del guisante que estamos examinando, aunque los gametos masculinos (polen) se producen exactamente en la misma relación en que se encuentran los genes en el genotipo de la planta, la producción de gametos femeninos es levemente diferente. Lo que significa que mientras en los gametos masculinos la relación de los genes de un individuo está exactamente determinada; en la hembra existe un componente azaroso, ya que es el azar el que determina cual de las cuatro copias de genes originales habrá de sobrevivir³⁰.

No es, sin embargo, en el hecho descrito en el párrafo anterior donde el componente estadístico se da con más precisión. Éste se manifiesta en toda su magnitud en la etapa siguiente. En efecto, solamente una pequeña proporción (elegida más o menos al azar de los millones de gametos que produce una planta de guisante) del conjunto total de gametos tiene éxito en la

³⁰ No olvidemos que en los gametos femeninos por cada óvulo mueren tres células.

combinación que formará la siguiente generación. Esto viene a señalar que la relación de genes de los descendientes se aproxima a la de los progenitores, pero no es exactamente igual. Lo que obtenemos aquí es un promedio estadístico y no una ley determinista. Por otra parte, la probabilidad de que un gen tenga éxito (como ocurre en el muestreo al azar) no depende de la suerte que haya corrido anteriormente, siendo sus probabilidades siempre iguales a las que representa su proporción en el conjunto total de la población de gametos existente. Estas conclusiones son importantes, puesto que abren las puertas al estudio matemático y estadístico de la genética y la herencia.

La no heredabilidad de los caracteres adquiridos(4) viene en la práctica a refutar el modelo de Lamarck que ya vimos en su momento. Recordemos que el modelo lamarckiano venía a decir que la herencia por sí sola podría producir evolución. Esto no se produce, ya que los caracteres adquiridos por un individuo en el transcurso de su vida no son heredados por sus descendientes.³¹

La no heredabilidad de los caracteres adquiridos esta determinada por el hecho de que los organismos disponen de dos líneas totalmente separadas que no son intercambiables: la línea somática y la línea germinal. Ambas líneas están separadas por la evolución. En la línea somática se instalan los cambios adquiridos, y la línea germinal es la responsable de la función reproductora que se transmite a la herencia. El que no se puedan producir traspasos de información de una línea a otra supone, en la práctica, la imposibilidad de que se puedan heredar cambios somáticos adquiridos.³²

³¹ Es de sobras conocido el ejemplo del hombre que ejercita su musculatura ejerciendo el trabajo de herrero, y cuya descendencia no hereda dicha musculatura. Esto demostraría que los caracteres adquiridos no se heredan.

³² Este hecho lo desarrollaremos más adelante al hablar de las aportaciones de August Weismann a la genética moderna.

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, dónde 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 resultados³³, 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.³⁴

La obra científica de Mendel cayó en el olvido: "durante los treinta y cuatro años siguientes (**se refiere a los años que siguieron a la publicación de la disertación de Mendel en las actas de la Sociedad de Brünn para el Estudio de las Ciencias Naturales**)³⁵, la obra de Mendel sólo se mencionó cuatro veces en letra impresa por parte de otros científicos" (Shapiro, 1993: 14). Fue en 1900 cuando se produjo su redescubrimiento simultáneo en tres lugares diferentes, y por tres científicos que nada tenían que ver entre sí. Concretamente: Carl Correns (1864-1933)³⁶ que trabajó en Tübingen observando la segregación en el maíz, Erich von Tschermark que trabajó en Viena y Hugo de Vries (1848-1935)³⁷ que trabajó en Ámsterdam.

³³ Gregor Mendel presentó, como ya dijimos, su disertación en la Sociedad de Brünn para el Estudio de las Ciencias Naturales en febrero de 1865, y en marzo de ese mismo año volvió a esta sociedad para acabar su disertación y presentar el análisis matemático de sus resultados. Al año siguiente se publicó la disertación de Mendel en las actas de la Sociedad Científica donde éste había presentado la disertación con los resultados de sus experimentos. Pese a que las actas de la Sociedad de Brünn para el Estudio de las Ciencias Naturales eran colecionadas por más de cien bibliotecas, no puede decirse que las mismas fueran reconocidas internacionalmente por su calidad científica.

³⁴ A este respecto es significativa la contestación que el doctor Karl Nageli, famoso botánico de Munich, 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.

³⁵ El subrayado es nuestro.

³⁶ Carl Correns es uno de los autores de la idea de que los genes se disponen en secuencia lineal a lo largo de los cromosomas.

3.3. Las aportaciones de August Weismann a la genética moderna

August Weismann (1834-1914) 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 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

³⁷ Hugo de Vries es junto a Bateson uno de los fundadores de la “nueva genética”; además desarrolló una teoría de mutación, a través de sus experimentos con la hierba del asno, que resultó ser errónea.

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.

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

El período 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 (ADN), 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 Crick, pero 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 ciencia.

4.1. 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 cual 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 polémica 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 Galton³⁸ (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 planteada por Darwin. Autores tan destacados de esta escuela biométrica³⁹ 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.

³⁸ 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 de este 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. Más adelante volveremos con más detalle sobre este tema.

³⁹ 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: *Statistics in Britain, 1865-1930*, Ed. Edinburgh University Press, Edimburgo, 1981.

William Bateson⁴⁰ (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, polémica 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.

Pero veamos un ejemplo de los argumentos utilizados en este debate. Comentaba Karl Pearson respecto de las ideas de Hugo de Vries, uno de los defensores más activos de la teoría sobre evolución discontinua: “Para los que aceptan el punto de vista biométrico, de que en lo esencial la evolución se ha realizado por saltos, pero mediante selección continua de la variación favorable de la descendencia procedente de un tipo fijo ancestral, modificando cada selección a este tipo proporcionalmente, deben resultar incompletas las teorías mendelianas de la herencia. Según esta interpretación la reproducción sólo puede hacer girar el calidoscopio de las alternativas existentes, sin poder adoptar nada nuevo. Para completar la teoría mendeliana parece que debemos asociarla, teniendo en cuenta el hecho evolutivo, con algunas hipótesis <<mutacionistas>>” (Rose et al., 1983: 46-47).

El debate entre los darvinistas que creían en la herencia continua y los mendelianos que creían en que ésta se producía de forma discontinua acabó cerrándose 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

⁴⁰ 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.

lo suficientemente significativas para que Pearson y los biométricos cambiaron de opinión respecto a su posición de continuidad de la herencia.

El debate entre los partidarios de la herencia continua y los partidarios de la herencia discontinua tuvo como consecuencia negativa el desinterés y olvido de los genetistas del estudio de la base celular de la herencia. En aquellos años los genetistas se ocuparon más de los caracteres mensurables cuya frecuencia podía ser determinada, que de descubrir los factores genéticos que producían dichos caracteres. Esto fue debido a que se consideraba que los factores genéticos que eran el origen de los caracteres sólo eran susceptibles de manipulación matemática, y se consideraba así porque se pensaba que eran entidades abstractas sin realidad fisiológica.⁴¹

4.2. Las posibilidades y los límites de la selección

En los primeros años del presente siglo se intentó establecer cuales eran las posibilidades y límites de la selección. Así, Wilhelm Johannsen⁴² (1857-1927) realizó experimentos en la *phaseolus vulgaris* (judías), una planta que se autofecunda, demostrando que el tamaño de las judías de estas plantas que se autofecundan depende del azar ambiental y no de la selección.

Los conocidos experimentos de Johannsen, que intentaban comprobar la <<ley de regresión de Galton>>⁴³, consistieron en lo siguiente: seleccionó de una población, que

⁴¹ El seguimiento de esta posición por parte de los genetistas tuvo la importante consecuencia de no poderse unificar los enfoques de la genética formal y celular/molecular. Por otra parte, que autores tan destacados como Bateson, en sus últimos años de vida, se manifestaran contrarios a que se proporcionara una base material química a los factores mendelianos, condujo a la separación de los estudiosos de la herencia (genéticos), y los que estudiaban el desarrollo del organismo y sus relaciones con el ambiente (embriólogos y fisiólogos).

⁴² 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.

⁴³ 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.

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 que si el mismo se debía a que se había alterado la constitución genética de las plantas a consecuencia de las selecciones realizadas, o el mismo 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. En éste 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 cual era la interpretación que daba a los resultados obtenidos en sus experimentos. Así en un escrito suyo fechado en 1909 dijo: “Las cualidades particulares de la ascendencia, ya sea 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.” (Johannsen, 1909)⁴⁴.

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

⁴⁴ El texto está extraído de Whilhelm Johannsen: *Elemente der Exacten Erblichkeitslehre*. Citado por Steven Rose et al.: *Historia y relaciones sociales de la genética*, Ed. Fontalba, Barcelona, 1983, p. 51.

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 ratas⁴⁵ y en Suecia los de Heinrich Nilsson-Ehle (1873-1949) en cereales⁴⁶ los que demostraron por primera vez que la variación mendeliana podía ser una fuente de pequeñas variaciones, 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 grande⁴⁷. 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 agrupaciones de factores ya presentes. Otra consideración que se extrae de esta consecuencia es que uno de los principales objetos de la reproducción sexual es incrementar la posibilidad de recombinación genética sobre la que actúa la selección natural.

4.3. 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

⁴⁵ 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.

⁴⁶ 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.

⁴⁷ 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 posibles, y cada una de ellas con un genotipo diferente.

de individuos. Esto trajo como consecuencia que la obtención de resultados estadísticos validos fuera extremadamente difícil.

La solución a este problema se alcanzó con la elección de una especie que, dada su rapidez de crecimiento y de reproducción, 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 además un mutante ligado al sexo.⁴⁸ Ese día empezó la aventura de la habitación de las moscas, aventura que con el tiempo aportaría las soluciones a los problemas:

⁴⁸ 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”.

del mapado cromosómico, el ligamiento sexual, la disyunción y la mutación. En 1933 Thomas H. Morgan recibiría el Premio Novel de Fisiología y Medicina por sus trabajos con la *Drosofila*.

Del grupo de investigadores que Thomas H. Morgan reunió en torno a la habitación de las moscas salieron investigadores e investigaciones tan importantes como Alfred H. Sturtevant (1891-1970), que diseñó el primer mapa cromosómico que mostraba genes ligados sexualmente, y descubrió las mutaciones supresoras; o Herman J. Muller (1890-1967) que empezó trabajando en la década de 1910-1920 en ligamiento sexual, para pasar en la década siguiente a estudiar los mapas cromosómicos, utilizando para ello rayos X para acelerar la tasa de mutación. Su trabajo sobre rayos X le llevó a la elaboración de la teoría del “lastre genético”, una teoría fundamental de la genética de poblaciones.

De los resultados obtenidos en los trabajos apuntados se extrajo la evidencia de que existe una relación entre los cromosomas y los mapas de ligamiento. Esto dio como consecuencia un acercamiento entre la genética formal y la citología. Con anterioridad a los descubrimientos aportados por el grupo de la habitación de las moscas existían serias reticencias a considerar que la citología aportaría algo a la genética. Esta era la opinión de científicos tan importantes en la época como Willian Bateson (1861-1926). El propio Thomas H. Morgan era de la misma opinión al principio de su carrera. Esta posición no supuso, sin embargo, que no hubiera avances en la disciplina citológica. Así, por ejemplo, Theodore Boveri (1862-1915) predijo en 1904 la relación de las formas apareadas de los cromosomas con la constancia del cariotipo, llegando a proponer que el entrecruzamiento cromosómico podría proporcionar las bases de la variabilidad. Esta proposición quedó en saco roto y no sería hasta el establecimiento de las relaciones entre gen y cromosoma en *Drosophila melanogaster* y otros organismos que la citología iniciaría verdaderamente su avance. Ese avance condujo a demostrar, por ejemplo, que los entrecruzamientos, los grupos de ligamento, los intercambios e inversiones de segmentos tenían fenómenos citológicos paralelos.

4.4. 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.⁴⁹

Aunque Hugo de Vries había interpretado mal los resultados de su investigación⁵⁰, 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 como 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 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

⁴⁹ 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.

⁵⁰ 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 “heterocigosis forzosa” como resultado de su complejo sistema letal, sistema asociado a gran cantidad de translocaciones cromosómicas.

vez un seguimiento genético de las mutaciones espontáneas en los individuos de *Drosophila* que estudiaba.⁵¹ 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, pues 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 mapados 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.

4.5. La moderna genética de poblaciones

Como hemos visto en los apartados anteriores, la controversia entre los biómetras y los mendelianos, que abarca el período 1890-1910, finalmente se resolvió a favor de estos últimos. La posibilidad de proporcionar una fuente de variación, la susceptibilidad de integrarse con la citología y suministrar así las bases de la genética molecular, eran triunfos de los mendelianos que los biómetras no podían contrarrestar.

Llegados a este momento la pregunta, desde la genética de las poblaciones, era qué nuevos caminos debía seguir ésta. Tres aportaciones importantes para responder a esta pregunta se desarrollaron en el período de la disputa entre biómetras y mendelianos. La primera de ellas

⁵¹ 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.

es el desarrollo del equilibrio Hardy-Weinberg; la segunda un estudio de Reginald C. Punnet (1875-1951) sobre el efecto de la selección; y la tercera el trabajo sobre las consecuencias matemáticas de la consanguinidad, estudiadas en Estados Unidos de Norteamérica, que se centralizó en torno a la figura de Sewall Wright. Pero veamos más detalladamente en qué consisten estas tres aportaciones.

El equilibrio de Hardy-Weinberg se debe al matemático Godfrey H. Hardy (1877-1947) que publicó un artículo en *Science* el 10 de julio de 1908 indicando: “las condiciones para un equilibrio estable en el caso de un locus con dos alelos con cruzamiento al azar. Siendo la frecuencia del genotipo AA=p, del Aa=2q, y del aa=r, demostró que la condición para un equilibrio estable era $q^2=pr$. También era establecida la condición de un equilibrio estable para una única generación de cruzamiento al azar; de modo que la distribución subsistiría sin cambios en las sucesivas generaciones.” (Rose et al., 1983: 64). Curiosamente, el alemán Wilhem Weinberg (1862-1937) había publicado la citada ecuación seis meses antes, aunque su trabajo fue ignorado durante mucho tiempo.

Reginald C. Punnet (1875-1951) investigó acerca de los modelos para la selección en poblaciones naturales. Su trabajo fundamental se publicó en 1915 en un libro titulado: *Mimetismo en mariposas*. En este trabajo Punnet, partiendo de la base de que toda variación era mendeliana, se preguntaba sobre la cantidad de generaciones que serían necesarias para que se produjera un cambio pequeño en la efectividad de un mimetismo de mariposa con otro organismo, en vistas a que la imitación que fuera mejor acabara convirtiéndose en una proporción sustancial de la población de mariposas. Los cálculos realizados mostraban que el proceso podía ser más rápido de lo que se pensaba en un principio.

En otro sentido, las nuevas líneas de investigación en genética de poblaciones necesitaban para su desarrollo nuevos métodos estadísticos. En la elaboración de estos métodos

sobresale, sin lugar a dudas, la figura de Ronald A. Fisher (1890-1962). A él se deben multitud de desarrollos estadísticos utilizados en genética de poblaciones. En su obra, que no se limitó tan sólo a aportar conocimiento estadístico, encontramos el inicio del desarrollo de un modelo para la interacción de: selección, dominancia, mutación y cruzamiento selectivo que pretende demostrar que mediante mecanismos mendelianos se puede explicar la evolución darwinista. El trabajo fundamental donde desarrolla este modelo lo publicó en 1930, y lleva por título: *La teoría genética de la selección natural*.

Fisher, que empezó a trabajar en la década de 1930 con Edmund B. Ford, subrayaba en su tratamiento teórico la importancia de la *heterocigosis* para la evolución. Sin embargo: “aunque en el modelo evolutivo de Fisher la selección actuaba sobre el fenotipo, en el que estaban involucrados necesariamente muchos pares de alelos heterocigotos y sus interacciones, gran parte del tratamiento matemático se refiere más bien a ejemplos sencillos en los que intervienen parejas únicas de alelos. Esto conduce a una interpretación del modelo que hace que las mutaciones génicas simples constituyan el origen principal del cambio evolutivo” (Rose et al., 1983: 67). El comentario tiene una gran carga crítica pues implica que el modelo de Fisher está basado en una visión simplificada que tiende a ignorar la interacción de los grupos de genes como una unidad evolutiva.

Los estudios que Sewall Wright realizó sobre consanguinidad intensiva le llevaron a argumentar que la selección podía ser particularmente efectiva en pequeñas poblaciones donde la deriva tuviera una contribución significativa, y a acentuar la importancia de la presión selectiva en los fenotipos originados mediante interacción de grupos de genes. Lo que contrastaba claramente con el posicionamiento matemático de Fisher, cuya selección suponía una población demasiado grande para que actuara la deriva genética.

Por último, no podemos terminar este apartado sobre el período en que se fraguó la configuración de la genética de poblaciones moderna sin destacar la figura clave del fisiólogo y genético John B.S. Haldane, el cual intentó desarrollar un modelo de acción génica para la evolución de la dominancia.

John B.S. Haldane (1892-1964), que tenía una formación amplia en fisiología, publica en 1932 un libro titulado: *Las causas de la evolución*. En este libro, que inicia interesándose por el ligamiento y mapado cromosómico, intenta explicar en forma cuantitativa qué efecto tiene la selección en poblaciones mendelianas.

Este autor, que en principio estaba de acuerdo con Fisher en la necesidad de tratar la evolución como consecuencia de la conjunción de los efectos de un gen único en poblaciones grandes, acabó por acercándose a las posiciones de Swall Wright al acentuar la importancia de otros factores en la evolución, y resaltar el papel jugado por la interacción de los sistemas de genes.

Pero si nos alejamos de las sofisticaciones matemáticas con las que ambos bandos en controversia se dotaron, encontramos que lo que en el fondo estaba en cuestión era si los cambios en la población se producían mediante “mutaciones”, o lo hacían mediante “selección”. Mientras los mutacionistas, siguiendo a Hugo de Vries, sostenían que los cambios en las poblaciones se determinaban mediante la presión de la evolución, y por tanto la evolución resulta de apariciones mutacionales adecuadas; los “seleccionistas” ponían su punto de mira en la reserva de variación potencial latente en la recombinación, y argumentaban que es la clase y cantidad de selección lo que determinaba en mayor medida los cambios en la población y evolución.

4.6. Génesis de la genética molecular moderna

La relación entre genética y bioquímica no se inicia, ni mucho menos, como podría imaginar alguien no experto en el tema en los años cuarenta y cincuenta. No obstante, es en este período cuando se producen los avances más significativos de esta relación.

En 1900 (año por otra parte, como ya dijimos, en el que se redescubren las investigaciones mendelianas) se produjo el descubrimiento de la naturaleza catalítica de las enzimas (fermentos). Con este descubrimiento se estableció la posibilidad de extraer de ellas organismos vivos que puedan utilizarse en trabajos *in vitro*. Esta posibilidad condujo a muchos biólogos a pensar que los fermentos acabarían proporcionando los datos necesarios para descifrar el proceso de la vida. En la práctica esto supone considerar a los factores mendelianos como mecanismos que controlan a los fermentos, o que en realidad ellos mismos son fermentos.

Estos avances prometedores de principios de siglo se vieron en parte truncados por una cuestión que quedó mal resuelta desde la relación de la genética con la bioquímica. Esta cuestión era el cómo explicar las relaciones de dominancia y recesividad (insertas en la teoría de Mendel) a través de la presencia o ausencia de determinadas sustancias que producen los genes.

El que esta pregunta quedara mal resuelta desde la relación de la genética con la bioquímica condujo a que mientras se producía el desarrollo de las investigaciones de los cromosomas (sobre todo a partir de 1910 con los estudios realizados por Morgan y su equipo de colaboradores) la naturaleza química de la acción genética pasara a un segundo plano.

Existen varios trabajos de investigación y varios investigadores que merecen ser destacados por su aporte al nacimiento de la genética molecular moderna. Uno de ellos es el que

Sir Archibald Garrod (1857-1935) realizó sobre la *alcaptonuria*⁵². La pregunta inicial que se planteó Garrod fue la de cómo iba a parar el *ácido homogentísico* a la orina. La respuesta a esta pregunta era relativamente fácil de contestar y remitía a la transformación de un metabolito normal, el *aminoácido tirosina*. Lo que resultó extremadamente difícil de encontrar fue el motivo de esa transformación. Basándose en estudios epidemiológicos Garrod observó que la *alcaptonuria* afectaba a determinadas familias. Este hecho le llevó a rechazar la idea de que la aparición del *ácido homogentísico* se debiera a una infección microbiana, y a establecer como consecuencia de la aparición del mismo una anomalía química, más o menos análoga a las malformaciones estructurales.⁵³

Lamentablemente estas ideas primerizas que conectaban la bioquímica con la genética no sirvieron para que genéticos y bioquímicos se pusieran a trabajar juntos. Aunque esto no quiere decir que no se produjeran intentos que resultaron fructíferos desde esa conexión. Prueba de ello lo constituye, sin lugar a dudas, el intento que se llevó a cabo en Cambridge entre los años veinte y treinta por bioquímicos como Frederick Gowland Hopkins (a quien se debe el desarrollo del concepto de “vitamina”) y fisiólogo-genéticos como John B.S. Haldane.

Existía una dificultad para que la conexión entre la genética y la bioquímica tuviera éxito: resultaba extremadamente complicado seguir las conexiones bioquímicas y genéticas. Los “errores congénitos” en humanos además de ser raros no siempre eran aptos para estudios bioquímicos, las plantas planteaban innumerables problemas genéticos y químicos, y los

⁵² La *alcaptonuria* es una enfermedad caracterizada por la presencia del *ácido homogentísico*. Esta enfermedad es fácilmente detectable puesto que una exposición al aire de la orina de los individuos afectados hace que ésta se oscurezca.

⁵³ Todas estas ideas las desarrolla Garrod en su libro de 1909: *Inborn Errors of Metabolism*. En este libro Garrod explica que en la *alcaptonuria* y en otros trastornos cuya transmisión es genética el organismo carece de ciertos enzimas clave para su buen funcionamiento.

mutantes elegidos de la *Drosophila*⁵⁴ tampoco mostraron ser los organismos más adecuados.⁵⁵

Así pues, había que encontrar el organismo más adecuado. Éste acabó siendo un moho del pan llamado *Neurospora Crassa*. Este organismo, dado su ciclo vital, puede crecer en un medio definido simple, y además tiene las ventajas de no requerir mucho espacio y de poder ser irradiado para producir un gran número de mutantes.⁵⁶

Gracias a la afortunada elección de la *Neurospora Crassa* se pudo establecer el uso del crecimiento de mutantes en placa con requerimientos específicos (que constituye una técnica clave en la genética microbiana), llegó a ser posible, como ya ocurría con la *Drosophila*, el mapado genético de microorganismos, y se estableció en los años cuarenta la famosa hipótesis: un enzima un gen.

A pesar de estos avances significativos de la genética molecular aún quedaban por resolver algunos problemas antes de llegar a la teoría del Ácido Desoxirribonucleico (ADN), teoría que se convertiría en el paradigma por excelencia de esta área de conocimiento. Quedaba por resolver, por ejemplo, la relación existente entre genes y enzimas. Lo cual resultaba extremadamente difícil, dado que todavía en los años 40 era muy incierta cual era la naturaleza química de la macromolécula.⁵⁷ Además, existía la tentación de argumentar que las proteínas debían ser también material genético; y ello porque éstas parecían ser moléculas biológicas de

⁵⁴ Se eligieron mutantes de la *Drosophila* de ojos rojos, blancos y marrones que por entonces ya eran bien conocidos, y los menos conocidos mutantes de ojos cinnabar y vermilion.

⁵⁵ Estudios como los de George W. Beadle y Boris Ephrussi utilizando mutantes cinnabar y vermilion (que estudiaban las consecuencias del trasplante de tejido potencial de ojo de una larva de un tipo de mutante a larvas de otro tipo) mostraron lo lento y difícil que resultaba realizar estos experimentos con *Drosophila*.

⁵⁶ Esta afortunada elección se debe sobre todo a George W. Beadle y Edward L. Tatum que trabajaron con la *Neurospora Crassa* en los años 30 y 40.

⁵⁷ Esta incertezza no es extraña puesto que había transcurrido poco tiempo (en la década de 1920) desde que se estableció que los enzimas eran proteínas compuestas por aminoácidos que se unen para formar macromoléculas, y cuyos pesos moleculares son del orden cientos de miles. Lo cual ocurrió no sin una gran controversia con los miembros de la química más ortodoxa, los cuales mantenían que era imposible la existencia de moléculas cuyas masas moleculares fueran más allá de algunos cientos.

gran importancia, y sobre todo porque las posibles permutaciones de los 20 aminoácidos que formaban las cadenas eran extremadamente altas.

Por otro lado, existía poco conocimiento acerca de los ácidos nucleicos⁵⁸. Durante varios años existió 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 como estaba determinada la estructura del ADN y cual era su composición. Se sabía, por ejemplo, que el ADN contenía cuatro bases: *adenina*, *guanina*, *citosina*, y *timina*; y que éstas se hallaban en proporciones regulares las unas con respecto a las otras⁵⁹. 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, un organismo que dada su menor complejidad permitiera evitar los obstáculos que habían presentado los organismos más complejos. Este organismo se encontró en los virus

⁵⁸ Recordemos que los mismos fueron aislados por primera vez por Friedrich Miescher (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. Miescher, 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”. La cita está extraída de Robert Shapiro: *La impronta humana. La carrera por desentrañar nuestro código genético*, Ed. Acento editorial, 1993, Madrid, p. 27.

⁵⁹ Esto es justo lo contrario de lo que ocurre con la distribución de aminoácidos en las proteínas.

bacterianos (*fagos*). Si bien es cierto que en el momento en que se iniciaron las investigaciones sobre ellos se desconocía todavía la manera como funcionaban, y existía discrepancia en torno a lo que eran. En este sentido, mientras unos 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.

En los años treinta todavía era demasiado pronto para comprender la importancia que los fagos tendrían (sobre todo a partir de la década de los 50) en el desarrollo de la genética molecular.⁶⁰ No olvidemos que en la década de los 30 muchos de los químicos más destacados estaban a favor del modelo proteico, y ello a pesar de que en 1937 Frederick Bawden y N. Wingate Pirie, trabajando con el virus del mosaico del tabaco, fueron capaces de demostrar que este virus estaba compuesto de ARN y proteína.

Pero volvamos la mirada unos años atrás para consignar una serie de acontecimientos que serían decisivos en la configuración de la genética molecular. El primero de ellos se produjo en 1928 cuando Frederick Griffith (1877-1941), un oficial médico, intentó producir un suero inmune para el tratamiento de la neumonía. De los muchos tipos de *Pneumococcus*, Griffith estudió dos, uno cuya forma era lisa “S”⁶¹ y otro cuya forma era rugosa “R”⁶². El primer tipo crecía *in vitro* en colonias lisas y el segundo tipo en colonias rugosas. La forma “R” en principio no era virulenta, sin embargo parecía que durante su crecimiento en una placa de agar la forma “R” no virulenta y la forma “S” virulenta podían intercambiarse. Tras estas observaciones Griffith realizó un experimento en el cual inyectó en ratones células no virulentas “R” junto con células muertas “S”. El resultado fue que los ratones morían infectados, y que a partir de la

⁶⁰ Recordemos, por ejemplo, que los experimentos conducentes a separar el ARN y la proteína en vistas a decidir cual de ellos era el que transportaba la infección vírica no se realizaron hasta los años cincuenta.

⁶¹ La “S” proviene de la palabra inglesa *smooth*, que traducida al castellano significa liso.

⁶² La “R” proviene de la palabra inglesa *rough*, que traducida al castellano significa rugoso.

sangre que se obtenía de ellos se podían aislar colonias virulentas del tipo “S”. Lo que llevaba a la conclusión de que debía de existir algún factor en las células muertas “S” que podía cambiar el tipo de las células no virulentas “R” por células vivas virulentas del tipo “S”. La pregunta que surgía de todo esto era obvia, y se refería a la sustancia que podía ser responsable de la transformación. Griffith pensaba que ésta debía ser una proteína.

En 1933 Dawson y Sia fueron capaces de demostrar mediante una transformación *in vitro* que el “principio de transformación” del *Pneumococcus* estaba en una nucleoproteína. Sin embargo, con esto todavía no quedaba resuelta la cuestión de si detrás del principio de transformación había un ácido o una proteína. La opinión generalizada entre los científicos del área seguía siendo favorable a que se trataba de una proteína. Para resolver de una vez por todas esta cuestión tres bioquímicos que trabajaban en el Instituto Rockefeller de Nueva York (Averi, Macleod, y Mccarty) purificaron paso a paso el “principio de transformación” del *Pneumococcus* utilizando enzimas purificados como separadores de sustancias específicas. En concreto utilizaron los enzimas *tripsina* y *quimotripsina*, que hidrolizan las proteínas, pero que en este caso no inactivaron el “principio de transformación”, como tampoco lo hizo la *ribonucleasa*. Con los resultados obtenidos a través de este experimento quedaba demostrado que el “principio de transformación” que estaba detrás del *Pneumococcus* no podía ser ni una proteína ni ARN y que, por tanto, debía ser ADN.

En 1944 ya se daba por seguro que la sustancia implicada en ese “principio de transformación” del *Pneumococcus* era el ADN. Sin embargo, no se entreveían todavía las enormes implicaciones que de ello se extraían. En esos años todavía existían muchos químicos reacios a aceptar las evidencias, y muchos genéticos con un desconocimiento claro de la química. Por otro lado, muchos bioquímicos (entre otros Herman J. Muller, premio Novel en 1946) aún pensaban en la posibilidad de la existencia de una pequeña proteína inserta en el ADN como la causante del “principio de transformación” del *Pneumococcus*.

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.

Encontrar el papel que jugaba el ADN era difícil. Fue preciso una actuación conjunta de la genética, la bioquímica y la estructura molecular, junto con soluciones específicas a cuestiones estructurales, para encontrarlo. Pero veamos con más detalle como se desarrollo este proceso.

Desde principios del siglo XX se fueron purificando y determinando las fórmulas químicas de muchas sustancias de importancia biológica. Alrededor de estas actividades se formó un campo científico en la que tanto biólogos como químicos orgánicos se mostraron interesados. Tanto los unos como los otros estudiaron desde sus posiciones reacciones y propiedades; e intentaron explicar las últimas por la disposición atómica de las moléculas, o como consecuencia de la forma de las mismas.

En los años 20 los químicos disponían ya de técnicas suficientes para tener confianza en que podían demostrar la existencia de sustancias biológicas complejas, *coloides*, llamados con posterioridad *macromoléculas*, aunque no su orden.⁶³ Las técnicas para poder realizar estos estudios químicos fue desarrollándose en gran medida en la primera mitad del siglo XX. Así, en Suecia, Svedberg desarrolló una centrifugadora de gran utilidad a la hora de demostrar la pureza de las macromoléculas una vez aisladas, y que era capaz de hallar su peso molecular. Por otra parte, la cristalografía por rayos X proporcionó la información necesaria para la construcción de

⁶³ No olvidemos que la primera secuenciación de una proteína, la insulina, se produjo en 1956 y la llevo a cabo Frederick Sanger mediante el empleo de enzimas capaces de dividir la insulina en fragmentos. Una explicación del método utilizado por Sanger la podemos encontrar en Robert Shapiro, op. cit., p. 80.

un modelo molecular de precisión, al permitir poner en claro cuales eran las posiciones atómicas de las moléculas.

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.⁶⁴ 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 formando una hélice “ α ”, parecida a un muelle.

El modelo de Linus Pauling de la hélice “ α ”, 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 como “contenido informativo

⁶⁴ 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 cincuenta y un aminoácidos, la hemoglobina lo está por casi seiscientos.

de las macromoléculas”, que en la estructura propiamente dicha. Si la primera escuela supuso la entrada masiva de biólogos en la genética, la segunda la entrada en masa de físicos.⁶⁵

No quisiéramos terminar este rápido repaso sobre la génesis de la genética molecular moderna sin mencionar a una escuela de indudable importancia en su nacimiento, consolidación, y crecimiento: la escuela del *fago*; cuyo núcleo se formó en torno a Max Delbrück del instituto de Tecnología de California de Pasadena, Salvador Luria del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT); y Alfred Hershey del Cold Spring Harbor de Long Island de Nueva York.

Varias son las características que unían a estos científicos que trabajaban en laboratorios tan dispersos. La primera de ellas era que el objeto de estudio que habían elegido era el mismo: el *fago*⁶⁶; la segunda que se reunían regularmente durante el verano en Cold Spring Harbor; la tercera que existía interés por parte de estos científicos en planear, hacer y discutir colectivamente experimentos y teorías. Estas características asociadas con la organización, unidas al desarrollo de nuevas técnicas (microscopía electrónica, que hacía posible observar las partículas víricas, y marcadores radioactivos) supusieron que en los laboratorios vinculados a la denominada escuela del fago se produjeran avances tan importantes como: el descubrimiento de los virus bacterianos; la sugerencia de Alfred Hershey de que el fago era como una pequeña jeringa de proteína llena de ADN vírico que estaba diseñada para poder unirse a la célula

⁶⁵ A esta entrada en masa de los físicos en la genética contribuyeron varios factores, entre los cuales destacamos: la percepción de muchos jóvenes físicos del agotamiento teórico de la física clásica y cuántica, y por tanto la búsqueda de otros campos vírgenes donde explorar; las cuestiones morales y políticas que la opinión pública asoció con la física después del lanzamiento de las bombas atómicas; y por último la influencia del libro de Erwin Schrödinger: *Qué es la vida*; libro que se publicó en 1944, y que influyó notablemente, entre otros, a científicos tan importantes dentro de la genética molecular como Francis H.C. Crick, James D. Watson, Maurice H.F. Wilkins, Salvador E. Luria y Seymour Benzer.

⁶⁶ La definición de *fago* es la siguiente: “subgrupo de virus que infectan bacterias mediante la inyección de su ácido nucleico en el interior de la célula huésped.” (Coombs, 1989: 40).

huésped e inyectar el ADN de ella⁶⁷; el modelo del operón⁶⁸; la prueba de Meselson-Stahl, más conocida como replicación semiconservativa⁶⁹; el mapado genético del fago λ, el estudio de los mutantes bacterianos, la sexualidad y conjugación de las bacterias.

Llegados a este punto debemos hacer una mención especial al descubrimiento por parte de James D. Watson y Francis H.C. Crick de la estructura molecular de los ácidos nucleicos, descubrimiento al que popularmente se le denomina como: “doble hélice del ADN”

4.7. 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.

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 como se producen los avances científicos en las

⁶⁷ Esta sugerencia dio lugar al clásico experimento que Martha Chase y el propio Alfred Hershey llevaron a cabo en el Cold Spring Harbor en 1951-1952 y cuyos resultados, pese a no ser distintos de los obtenidos anteriormente por O.T. Avery en el principio de transformación, fueron considerados como la prueba concluyente del papel que jugaba el ADN. Una descripción más precisa del experimento la podemos encontrar en Steve Rose et al., op. cit., pp. 121-122.

⁶⁸ La línea de experimentos que darían lugar al modelo del operón se inició en 1949 en el Instituto Pasteur cuando André Lewoff inicio sus trabajos sobre la *lisogenia* en *Bacillus megaterium*, y siguiendo sus sugerencias Jacques Monod empezó a mostrar interés por los enzimas adaptativos. De esta forma Monod empezó a trabajar sobre inducción enzimática con un excelente colaborador, François Jacob. Recordemos que el modelo del operón viene a decir que: “aunque los genes estén presentes solo se expresan si existe una necesidad metabólica producida por un cambio en el ambiente, y que los genes se ponen en funcionamiento mediante un complejo mecanismo de control” (Coombs, 1989: 264).

⁶⁹ La replicación semiconservativa es una: “copia del ADN, cuyo resultado final es la formación de dos moléculas hijas, cada una de las cuales está constituida por una cadena proveniente de la molécula original y otra de nueva síntesis” (Coombs, 1989: 312).

sociedades modernas. En primer lugar, tuvo que producirse un planteamiento interdisciplinar de disciplinas tan alejadas entre sí como la física, la genética y la química⁷⁰; en segundo lugar, el carácter singular de los protagonistas de la invención⁷¹; en tercer lugar, la forma tan alejada de la ortodoxia científica que llevó al descubrimiento⁷².

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

⁷⁰ Hemos visto en apartados anteriores como distintas disciplinas fueron haciendo sus aportaciones a la genética molecular. El descubrimiento de la estructura del ADN resulta uno de los ejemplos más significativos de esta tendencia interdisciplinar, puesto que, por ejemplo, en el período en que se produjo el descubrimiento James D. Watson era doctor en física y Francis H.C. Crick estaba haciendo sus estudios de graduación para doctor sobre el análisis de las proteínas mediante rayos X. Dos disciplinas, sin duda, muy alejadas entre sí.

⁷¹ Sírvanos como muestra de este carácter singular del que hablamos el siguiente comentario de Erwin Chargaff, uno de los mayores expertos mundiales sobre el ADN: “Cuando conocí a F. H. C. Crick y J. D. Watson en Cambridge (...) me parecieron una pareja algo incongruente (...) La primera impresión distó mucho de ser favorable, y no contribuyeron a mejorarla los numerosos elementos burlescos que adornaron la conversación que siguió, si es que se puede describir así lo que en parte no fue más que una arenga entrecortada... En cualquier caso, parece que no me di cuenta de que estaba viviendo un momento histórico; un cambio en el ritmo de los latidos de la Biología.

Puedo describir mi impresión de la manera siguiente: uno de ellos, de unos treinta y cinco años de edad, tenía todo el aspecto de un correveidile, uno de esos espías que buscan informes acerca de las carreras de caballos (...) un tipo que no dejaba de parlotear intercalando de vez en cuando alguna que otra idea válida en aquel turbio torrente de palabras. El otro que parecía estar poco desarrollado para los veintitrés años que tenía, me miraba con una sonrisa más taimada que tímida en el rostro, sin decir prácticamente nada, al menos nada interesante.

Por lo que pude deducir, y basándome en unos determinados conocimientos de Química, querían encajar el ADN en una hélice. Para mí estaba claro que me enfrentaba a una novedad: a unas enorme dosis de ambición y agresividad, unidas a una ignorancia casi completa por no decir desprecio hacia la Química (...) En cualquier caso, allí estaban formulando especulaciones, reflexionando, intentando desesperadamente pescar alguna información.

Les conté todo lo que sabía. Si habían oído hablar antes de las normas de emparejamiento, lo ocultaron cuidadosamente. Pero, como parecían no saber prácticamente nada de nada, tampoco me sorprendí demasiado (...)

La nota que tomé antes de marcharme de Cambridge decía simplemente: <<Dos tipos desorientados en busca de una hélice>>. En Erwin Chargaff: *Heraclitean Fire, Sketches from a Life Before Nature*. La cita está extraída de Robert Shapiro, op. cit., pp. 68-69.

⁷² Nos referimos aquí al hecho de que los descubridores de la estructura del ADN no realizaron ningún experimento, y a que los datos que refrendaban 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 el grupo de investigación de la competencia, grupo que además poseía el mejor trabajo de rayos X sobre el ADN.

muy importante el libro de Erwin Schrödinger: *Qué es la vida*⁷³, el trabajo de O.T. Avery, junto a Macleod y Mccarty, sobre el agente transformador del *Pneumococcus*⁷⁴, los trabajos de Linus C. Pauling sobre la estructura proteica en hélice⁷⁵, y el experimento de Alfred Hershey y Martha Chase que demostraba que en determinadas infecciones víricas a causa de bacterias 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 muchos laboratorios, trabajos que culminaron con el descubrimiento de la estructura molecular de los ácidos nucleicos.

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, que era el director del laboratorio del King College de Londres donde se estaba realizando el mejor trabajo de cristalografía de rayos X referido al ADN.

⁷³ 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.

⁷⁴ 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.

⁷⁵ Pauling, como ya dijimos más arriba, 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.

Otra clave importante para el descubrimiento de Watson y Crick fue la obra de Erwin Chargaff, en éste 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, pero 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 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 presentado por Watson y Crick.

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; ésta 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 sólo 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 él estaba completo el modelo de estructura del ADN.

Era la mañana lluviosa del 28 de febrero de 1953. El artículo clásico donde se propuso por primera vez este modelo de la doble hélice de Watson y Crick fue publicado por la revista Nature del 23 de abril de 1953, nº 171, pp. 737-738, con el título de: “Estructura molecular de los ácidos nucleicos” y que empezaba así: “Queremos proponer una estructura para la sal del ácido desoxirribonucleico (ADN). Esta estructura posee unas características nuevas que tienen un considerable interés biológico.” (Watson y Crick, 1953: 737)⁷⁶. El 30 de mayo publicaron en la misma revista, nº 171, pp. 964-967, otro artículo que ofrecía detalles del plan de reproducción y que llevaba por título: “Implicaciones genéticas de la estructura del ácido desoxirribonucleico”.

⁷⁶ Citado por Steve Rose et al., op. cit., p. 127.

5. Los avances más importantes y recientes de las nuevas biotecnologías y de la genética (1953-2001)⁷⁷

En este apartado enumeraremos a modo de resumen, y sin profundizar en ellos, los avances más significativos del período que consideramos. Para ello, y dada la complejidad y aumento considerable de los descubrimientos que atañen a las nuevas biotecnologías en general, y a la genética en particular, hemos creído oportuno presentar los mismos de forma resumida, y en forma de listado.⁷⁸ En el capítulo siguiente, que dedicamos a las aplicaciones de las nuevas biotecnologías, volveremos a encontrar algunos de estos descubrimientos, y veremos cual es su importancia aplicativa. Veamos pues, cuales han sido los avances más significativos de las nuevas biotecnologías y de la genética entre los años 1953 y 2001.

1953: James Watson y Francis Crick descubren la estructura molécula 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.

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.

⁷⁷ Iniciamos este apartado con la fecha del descubrimiento de la estructura del ADN, con la que acabábamos el anterior, y lo finalizamos con el año en que se publicaron conjuntamente los dos primeros borradores de los mapas del genoma humano. Creemos que ambas fechas son dos hitos importantes que marcan fronteras cualitativas de desarrollo en las nuevas biotecnologías; aunque hablar de fronteras en este campo, como en cualquier otro relacionado con la ciencia y la tecnología, sólo es algo ideal que nos sirve para enmarcar en el tiempo principios y fines de etapas históricas; etapas que siguen, que duda cabe, su curso independiente de los términos en que las encorsetamos.

⁷⁸ Los datos utilizados para realizar este resumen están extraídos, en su mayor parte de Cristina Serra: “Arquitectos de la vida”, Revista Newton, Nº 7, noviembre de 1998, pp. 34 y 36; Malén Ruiz: “Las células adultas pueden reprogramarse para producir otro tipo de tejidos, <http://www.elpais.es>, 22 de enero de 1999; Isabel Ferrer: Un informe oficial británico alerta sobre los riesgos medioambientales de los transgénicos, <http://www.elpais.es>, 18 de febrero de 1999; Isabel Ferrer: “El Reino Unido aprueba la clonación de embriones con fines médicos”, <http://www.elpais.es>, 20 de diciembre de 2000; y El País: “El análisis del genoma confirma que el ser humano sólo tiene unos 30.000 genes”, <http://www.elpais.es>, 12 de febrero de 2001.

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. Niremberg 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 sólo 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 de 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 Huntington.

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 microsomos 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.⁷⁹ 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 órdenes de Robert Waterston, ambos financiados con fondos públicos. En noviembre John Thomson y su equipo

⁷⁹ 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.

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 luego pueden diferenciarse para producir cualquier tipo de tejido adulto, tejido que luego puede usarse para transplantes. 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 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 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 30.000.⁸⁰ 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.

Con este breve resumen sobre los desarrollos más recientes e importantes en las tecnologías de la vida en general, y la genética en particular, damos por concluida esta introducción histórica sobre las nuevas biotecnologías. Creemos que la misma es de utilidad, puesto que nos proporciona una dimensión temporal de la evolución de los avances producidos en esta área de conocimiento, un área que se vislumbra como una de las más importantes en un futuro próximo, y de cuyas prometedoras aplicaciones vamos a ocuparnos a continuación.

⁸⁰ Más adelante hablaremos con más detalle de las sorpresas que contienen estos primeros borradores del genoma humano.

CAPÍTULO SEGUNDO

APLICACIONES DE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS

1. Introducción

Iniciaremos este capítulo con una definición de lo que entendemos por nuevas biotecnologías⁸¹. De las muchas existentes hemos optado por dos que a nuestro entender se complementan perfectamente. La primera pone el acento en sus aplicaciones en la industria, mencionando algunas de ellas; la segunda menciona cuales son las principales tecnologías que las componen. Después pasamos a examinar, con alguna amplitud, los usos que se han ido dando a estas nuevas tecnologías de la vida. Para ello hemos clasificado las mismas en cuatro grandes categorías que atienden a la materia viva utilizada: microorganismos, plantas, animales y seres humanos.

2. Definición de nuevas biotecnologías

Varias son las definiciones que se han dado a la biotecnología, aunque aquí nos vamos a quedar con tan sólo dos de ellas. La primera la define como: “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

⁸¹ Recordar, como señala Louis Lemkow, que: “Biotecnología es como 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).

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, 1989: 47-48). La segunda definición que queremos destacar está basada en la reflexión llevada a cabo en los Estados Unidos de Norteamérica durante la primera mitad de la década de los ochenta: “La segunda definición, más acotada, concierne a la nueva biotecnología que utiliza comercialmente las técnicas de ADN recombinante, la fusión celular y los nuevos procedimientos de la bioingeniería” (Muñoz, 1995: 1).

En lo referente a nuestra tesis vamos a tener en cuenta básicamente, y en la medida que ello nos sea posible, la segunda definición señalada. Lo que nos permitirá distinguir las nuevas biotecnologías de las biotecnologías tradicionales⁸².

Pero veamos a continuación con algún detalle algunas de estas nuevas biotecnologías a las que hacemos referencia. Para ello, atendiendo a la materia viva utilizada, hemos clasificado las mismas en cuatro grandes categorías: microorganismos, plantas, animales y seres humanos. Esta clasificación nos permitirá distinguir mejor cuales son las biotecnologías⁸³ específicas y comunes que en cada categoría se aplican.

3. Nuevas biotecnologías en microorganismos

Los microorganismos han venido siendo utilizados por el hombre hace miles de años. Productos tan importantes como el queso, el pan, y las vacunas contra enfermedades infecciosas

⁸² Ello, sin embargo, no nos ha sido posible hacerlo en los capítulos tercero y cuarto que dedicamos a la estructura de la biotecnología pública y privada en España, dado que los datos a los que hemos tenido acceso para elaborar esos capítulos no hacen distinción entre las nuevas biotecnologías y las tradicionales.

⁸³ En toda la tesis, excepto cuando lo hacemos constar específicamente, cuando hablamos de biotecnologías nos estamos refiriendo a las nuevas biotecnologías y no a las biotecnologías tradicionales. Procedemos de esta forma para no hacer engorrosa la lectura. Es por tanto una cuestión de estilo que no creemos que influya en el contenido de lo que queremos decir. Bástenos de momento con esta nota aclaratoria que evita al lector cualquier confusión que pudiera surgirle al respecto.

tienen su origen en la manipulación de los microorganismos por parte del hombre, una manipulación que en algunos casos, como los que se producen por procesos de fermentación, no fueron en principio realizados de forma consciente. Lo que han hecho las nuevas biotecnologías ha sido aumentar la capacidad de intervención del hombre 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 los cuales la *Escherichia coli* como bacteria, y la *Saccharomyces cerevisiae* como hongo, se consideran los más importantes.⁸⁴

El cuadro que presentamos a continuación es una buena muestra de la importancia de los hongos para las nuevas biotecnologías. El mismo nos da algunos ejemplos de su utilización en la expresión de proteínas que tienen un gran interés para el hombre.

**CUADRO 2.1.
EJEMPLOS DE PROTEÍNAS EXPRESADAS EN HONGOS FILAMENTOSOS**

PROTEÍNA	HONGO
QUIMIOSINA BOVINA	<i>Aspergillus awamori</i> <i>Aspergillus nidulans</i> <i>Trichoderma reesei</i>
TPA HUMANO	<i>Aspergillus nidulans</i>
INTERFERÓN HUMANO	<i>Achlya ambisexualis</i>
INTERLEUQUINA 6 HUMANA	<i>Aspergillus nidulans</i>
ENDOGLUCANASA <i>C. fimi</i>	<i>Aspergillus nidulans</i>
PROTEASA ASPARTICA <i>R. miehei</i>	<i>Aspergillus orizae</i>
TAUMATINA	<i>Aspergillus orizae</i>

FUENTE: Rubio (1994: 143)

⁸⁴ Las bacterias y los hongos son los microorganismos que en mayor medida utiliza la biotecnología.

Los microorganismos son de gran interés para las nuevas biotecnologías ya que son *eucarióticos*⁸⁵; lo que permite, a través de la división celular meiótica, la transmisión del material genético a las células hijas. Existe un gran conocimiento 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.⁸⁶

⁸⁵ 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 eucariorias necesitan oxígeno para su desarrollo...” (Coombs, 1989: 140).

⁸⁶ 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 Víctor Rubio: “Microorganismos y productos de alto valor añadido”, en José López y Aurelia Modrego (eds.), *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, Madrid, 1994, p. 145.

3.1. Utilización de los microorganismos como biodegradadores de la contaminación

Una de las aplicaciones de las nuevas biotecnologías más prometedoras, y que se hallan relacionadas estrechamente con la manipulación genética de microorganismos, es la que se relaciona con 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: “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...**)⁸⁷ 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 *Alcalígenes*, *Rhizobium*, *Rhodobacter*, *Arthrobacter* y *Xanthomonas*. Estos microorganismos poseen una gran adaptación al medio debida a su capacidad de utilizar variedades de compuestos químicos como fuentes de carbono, y además sobreviven en muchas ocasiones a condiciones físicas adversas.

⁸⁷ El subrayado es nuestro.

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.⁸⁸

La contaminación medioambiental puede ser clasificada por los distintos tipos de contaminantes que en ella intervienen. Una clasificación de éstos, que ataña 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, en primer lugar, 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, etc. Entre los metales pesados más contaminantes destacan por su importancia los referidos al: mercurio (Hg), cadmio (Cd), cinc (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb), cobalto (Co), Arsénico (As).

Teniendo en cuenta que los metales pesados son indestructibles, la primera estrategia que se diseño contra la contaminación que producen fue la de intentar su conversión a formas que fueran menos tóxicas. Esta estrategia ha venido siendo sustituida por otra que implica el desarrollo de sistemas de *desolubilización* que permitan su separación, y/o que disminuyan su concentración en la forma bioactiva. Hasta el momento la forma más usada de eliminación de estos metales pesados en los flujos líquidos contaminados ha sido a través de un procesamiento químico que resulta caro, y que además tiene la desventaja de que puede tener efectos no

⁸⁸ Entre las mismas destacan: las replicaciones de amplio espectro, las técnicas sobre fagos, transposones y vectores de clonaje de distinto tipo.

deseados.⁸⁹ Existen alternativas de origen biológico a este procesamiento, alternativas basadas en el uso de microorganismos capaces de acumular iones metálicos con un cierto grado de especificidad. Por ejemplo: “El polisacárido que envuelve las membranas de una gran variedad de microorganismos tiene una naturaleza *polianiónica* que de por sí presenta propiedades de matriz de intercambio iónico susceptible de ligar metales. En algunos casos, el polisacárido presenta cierta especificidad hacia un tipo de iones e incluso su producción puede estar regulada por la presencia del metal. Pero aparte de la cubierta celular los iones metálicos pueden acumularse de forma natural en otros comportamientos celulares. En la literatura científica pueden encontrarse docenas de bacterias y hongos que acumulan diversos metales. Existen en la actualidad esquemas industriales de bioacumulación de metales preciosos basados en el uso de microorganismos como biomasa metaloadsorbente, e incluso procesos de descontaminación de aguas residuales ricas en metales basados en el acoplamiento de etapas de bioadsorción de iones metálicos en algas, seguido de una remineralización anaerobia de los iones a los sulfuros correspondientes por bacterias reductoras de sulfato” (De Lorenzo, 1994: 126).

Los ejemplos que señala Victor de Lorenzo, de utilización de microorganismos frente a la contaminación por metales pesados, son una buena muestra de las posibilidades presentes y futuras que en este campo se le presentan a las nuevas biotecnologías.

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

⁸⁹ El procesamiento del que estamos hablando aquí es el de la floculación química. Este procesamiento supone para los metales pesados su precipitación como sales e hidróxidos a través de cambios de pH, y la adición de adyuvantes.

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.⁹⁰

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 están teniendo 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 aquellos llevan a cabo⁹¹. Cabe esperar que en los próximos años, y en la medida que el conocimiento de estas rutas aumente, se produzcan a través de la utilización de las nuevas biotecnologías avances sustanciales en el control de la contaminación que producen el azufre orgánico del carbón y el petróleo.⁹²

⁹⁰ Una buena aproximación a algunos de los tratamientos que se siguen para degradar los compuestos *xenobióticos* señalados con la utilización de microorganismos la podemos encontrar en Victor de Lorenzo: “Biotecnología medioambiental: nuevos abordajes biológicos al problema de los residuos industriales”, en José López y Aurelia Modrego (eds.): *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, Madrid, 1994, pp. 126-129.

⁹¹ 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*.

⁹² Una buena descripción de los experimentos que se están realizando sobre las rutas de biodegradación para hidrocarburos naturales y *xenobióticos* la podemos encontrar en Fernando Rojo: “Evaluación experimental de rutas de biodegradación para compuestos xenobióticos”, en José López y Aurelia Modrego (eds.): *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad Carlos III, Madrid, 1994, pp. 131-136).

Un punto que preocupa, en este proceso de utilización de los microorganismos modificados genéticamente en la biodegradación de compuestos químicos contaminantes, es el del impacto ambiental que puedan tener éstos al ser liberados en el medio ambiente. Y es que todavía existen dudas acerca de las posibles consecuencias negativas que tal liberación pueda tener en un ecosistema en el que los microorganismos introducidos no están presentes.

El riesgo que se plantea aquí hace necesario: “el desarrollo de ecosistemas modelo que simulen los lugares en los que se va a introducir el microorganismo recombinante, y que permitan analizar aspectos como:

- a) La capacidad del microorganismo manipulado para sobrevivir fuera del laboratorio, en el medio ambiente en el que se le quiere introducir, y comprobar si alcanza unos niveles de población suficientemente altos como para realizar su función eficientemente (...);
- b) estabilidad de los genes introducidos o manipulados en el microorganismo en ausencia de presión selectiva;
- c) efecto de las condiciones medioambientales sobre la capacidad degradativa del microorganismo (...);
- d) posibles efectos negativos del microorganismo manipulado sobre el ecosistema en el que se le introduce (...)” (Rojo, 1994: 136-137).

Existen ya algunos estudios, realizados sobre simulaciones de suelos agrícolas o fangos activados en una planta de aguas residuales, que analizan en ecosistemas modelos problemas como los mencionados en el párrafo anterior.⁹³ A pesar de que los ejemplos existentes en estos estudios u otros son limitados hay coincidencias en los casos analizados sobre la supervivencia razonable de los microorganismos genéticamente manipulados en los ecosistemas modelo

⁹³ Ver al respecto: D.F. Dwyer, F. Rojo, y K.N. Timmis: “Bacteria with new pathways for the degradation of pollutants and their fate in model ecosystems”, en W. Klingshtman (ed.), *Risk Assessment for Deliberate Releases*, Ed. Springer-Verlag, Berlín, 1988, pp. 100-109; N.C. McClure, A.J. Weightman, y J.C. Fry: “Survival of Pseudomonas putida UWCI containing cloned catabolic genes in a model activated sludge unit”, *Applications Environmental Microbiology*, Nº 55, 1989, pp. 2627-2634; J.L. Ramos, E. Duque, y M.I. Ramos-González: “Survival in soils of an herbicide resistant Pseudomonas putida strain bearing a recombinant TOL plasmid”, *Applications Environmental Microbiology*, Nº 57, 1991, pp. 260-266. Estas referencias están extraídas de Fernando Rojo, op. cit., p. 137.

probados. En este sentido, no sólo la información genética introducida no hace al microorganismo modificado menos apto para competir con la población indígena, sino que incluso le da cierta ventaja selectiva sobre ésta; al permitirle utilizar en exclusividad, como fuente de carbono, contaminantes que otros microorganismos no pueden digerir. Esta ventaja cesa al desaparecer el contaminante que la origina. Otra de las observaciones que se han realizado se refiere a si la información genética manipulada introducida en la bacteria en plásmidos puede transferirse lateralmente a otros microorganismos del ecosistema. Esto no sucede, al menos en frecuencias detectables, cuando los genes manipulados son introducidos por recombinación en el cromosoma de la bacteria.

Se han desarrollado (atendiendo a las especificidades propias de la introducción de microorganismos genéticamente modificados en el medio ambiente, y para su uso como biodegradantes de compuestos contaminantes, y a fin de evitar que proliferen de forma incontrolada más allá del escenario en el que se quiere que actúen) varios sistemas que facilitan la introducción de genes clonados en el cromosoma de las bacterias, y sistemas de suicidio condicional que hacen que las bacterias recombinadas se mueran una vez hayan conseguido degradar el *xenobiótico* contaminante.

Las investigaciones realizadas hasta la fecha han permitido también comprobar que, y para los casos estudiados, los microorganismos recombinantes introducidos degradan eficazmente los contaminantes hasta cierto nivel de concentración, pasado el cual éstos se vuelven tóxicos para los propios microorganismos que intentan degradarlos.

3.2. Utilización de los microorganismos en alimentación

Otro de los campos donde la manipulación genética de los microorganismos ha adquirido una gran importancia es la alimentación. La necesidad de sustituir aditivos químicos

por otros más naturales ha dado como resultado el desarrollo de 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 es una buena muestra de la importancia que se le está dando a la utilización de las cepas microbianas en los ingredientes alimenticios.

**CUADRO 2.2
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>
Xantano	Espesante	<i>Xanthomonas campestris</i>

FUENTE: Domínguez (1994: 181)⁹⁴

Este apartado nos ha permitido ver la importancia de los microorganismos en la industria alimenticia, importancia que se ha incrementado por la aplicación de las nuevas biotecnologías en este sector de la industria. Más adelante, al hablar específicamente de las nuevas biotecnologías aplicadas a la producción de alimentos, volveremos a encontrarnos con

⁹⁴ Extraído de B. Wasserman, T. Montville 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, nº 11, 1988, p. 133.

estas aplicaciones, eso si de una forma más específica, y a subrayar una vez más la importancia de las mismas.

4. Nuevas biotecnologías en plantas

Lo primero que hay que destacar son las inmensas posibilidades que las nuevas biotecnologías abren con relación a las plantas en general: les confieren resistencia a un parásito, virus, bacteria hongo, o a devoradores como insectos y gusanos nematodos;⁹⁵ las convierte 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, etc.) pueda ser de alguna forma perjudicial para la salud humana o el medio ambiente⁹⁶. 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

⁹⁵ 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.

⁹⁶ El ejemplo más claro de esto lo constituyen los nitratos.

relativa facilidad gracias a que en las células existen enzimas que son capaces de retrotranscribir el ARN vírico en ADN.

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

No podemos olvidar tampoco que las nuevas biotecnologías aplicadas a las plantas plantean nuevos problemas a la medición de riesgos derivados de la introducción de un gen extraño en el medio ambiente. El problema central consiste en hallar como un transgen puede modificar el ecosistema en el cual se introduce; otro problema no menor es el de determinar cuales serán las consecuencias de tal modificación. Respecto a la solución de estos problemas existen varias consideraciones previas que son importantes. La primera es de si la introducción

del transgen altera la relación entre insectos polinizadores y plantas. Para dar contestación a esta pregunta debemos tener previamente una respuesta clara sobre si el carácter transgénico de una planta puede modificar el comportamiento de libación de la abeja. La segunda nos remite a si las plantas transgénicas, y más en general los Organismos Genéticamente Modificados (OGM), son capaces de proliferar e invadir ecosistemas distintos de aquél en el que fueron introducidos, lo que iría en detrimento de otras especies. La tercera cuestión se refiere a de si el transgen de la planta se puede “escapar” e introducirse accidentalmente en el patrimonio genético de otra variedad o especie. Para dar contestación a estas dos últimas cuestiones es necesario, en el caso de las especies, contestar a la pregunta de si puede el polen franquear las barreras existentes entre ellas. En este aspecto, para las variedades de una misma planta: “dos equipos del INRA francés, el de Rennes (estación del Rheu) dirigido por Michel Renard y el de Dijon dirigido por Henri Darmency constataron que ocasionalmente existía transferencia de polen transgénico a ochocientos metros, sin duda por los insectos polinizadores. Existe, pues, un riesgo de diseminación del transgen por el polen en el seno de variedades de una misma planta.” (Habert, 1995: 33).

Por otro lado, también hay que dar una contestación satisfactoria a la cuestión de si las bacterias (especialmente la *Agrobacterium tumefaciens* presente en el suelo) pueden infectar a las plantas transgénicas, “capturar” el transgen y provocar su diseminación. Estas mismas consideraciones caben hacer con hongos patógenos como el *Aspergillus* o el *Cladosporium*, y con los virus cuyo riesgo deriva sus posibles recombinaciones.

Estas problemáticas en torno a las plantas a las que se la introducido un Organismo Genéticamente Modificado se volverán a tratar con más detalle cuando abordemos el debate sobre el riesgo, lo que haremos en el capítulo quinto de esta tesis. Allí veremos casos de estas aplicaciones biotecnológicas en plantas que se han convertido en consecuencias negativas ciertas.

4.1. 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, y más concretamente el de las plantas utilizadas por la agricultura, las llamadas “plantas transgénicas”⁹⁷. Ello es así porque dicha transferencia permite 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 están teniendo 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, está 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 herbicida⁹⁸. 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

⁹⁷ 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 disseminación a cielo abierto ha sido autorizada, o está en proceso de autorización, por la Unión Europea la podemos encontrar en Ernst and Young: “European Biotech 98”, Ed. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas, 1998, Luxemburgo.

⁹⁸ El cultivo de este tabaco transgénico en campo abierto fue autorizado por la Comisión de la Unión Europea en julio de 1994.

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.

La mejora tradicional se inicia con la búsqueda de una variedad silvestre de una planta que ya se utiliza en cultivos que posea una característica determinada que resulta útil, como por ejemplo: la resistencia a la salinidad del suelo, el aprovechamiento mayor de los nitratos de la tierra, la resistencia a un virus, etc. 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 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, cruces que implicaran 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.⁹⁹

La ingeniería genética hace posible, salvando los inconvenientes que más 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,¹⁰⁰ 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 en vistas a su inserción posterior en las plantas que se quieren mejorar. Antes de dicha inserción el gen se inserta 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 sexual¹⁰¹, que la nueva planta y todas las que proceden de ella tengan el gen insertado, y a través de él la característica deseada, en una sola generación y sin ningún gen indeseado. Además, a través de

⁹⁹ En este mismo sentido se expresaba a principios de 1995 el presidente de la Comisión de Ingeniería Biomolecular francesa, que es la encargada en Francia de evaluar los riesgos de la diseminación de las plantas transgénicas y otros organismos genéticamente modificados en el campo, Axel Kahn al señalar: “Al practicar cruces, y luego seleccionar un carácter (método tradicional), se utiliza un método incierto, que introduce muchas incógnitas en la nueva variedad obtenida. En cambio, por transferencia de genes, únicamente se introduce en la planta material genético conocido. Por esto, teniendo en cuenta las precauciones que se toman con las plantas transgénicas, el riesgo general de la selección de variedades disminuye con la utilización de la ingeniería genética”. La cita la hemos extraído de P. Habert: “La ingeniería genética probada en los campos”, *Mundo Científico*, vol. 15, nº 153, enero de 1995, p. 33. Faltaríamos a la verdad si dijéramos que existe al respecto un consenso definitivo, lejos de ello existe un debate en el cual abundan las posiciones antagónicas. Por ejemplo, la posición de los ecologistas es justamente la contraria de la que acabamos de señalar. Para ellos el transgen es, en general, algo ajeno y extraño al ecosistema en el cual es introducido y además no ha sido sometido a la selección que establece el medio. De estas apreciaciones deducen los ecologistas que la propagación en el medio de estos transgenes puede provocar efectos imprevisibles e indeseables.

¹⁰⁰ Es posible que este gen no sólo 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.

¹⁰¹ 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, cómo 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.

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 su interacción con el organismo huésped puedan ocasionar. Estas evidentes ventajas potenciales han hecho de esta área una de las más importantes en el desarrollo y utilización de la ingeniería genética.

Con relación a la mejora de plantas persisten, sin embargo, importantes cuestiones a resolver. Una de las que más han preocupado a los científicos en la última década ha sido la de obviar la necesidad de regenerar plantas a partir de una sola célula. Buscando resolver esto, a finales de los años ochenta un equipo de investigación alemán del Instituto Max Plank inyectó una solución de genes en tallitos en crecimiento de plantas de maíz. Estos tallitos al crecer formaron las células reproductoras, los óvulos y el polen. En el experimento se mezclaron los óvulos y polen de plantas a las que anteriormente se les había inyectado la solución de genes. Los resultados fueron que dos de las tres mil semillas obtenidas se convirtieron en plantas en las que se hallaban incorporados los genes inyectados en su propio material genético.

Una de las mayores preocupaciones de las nuevas biotecnologías aplicadas a la mejora en plantas ha sido la de encontrar las técnicas más idóneas para introducir genes en las monocotiledóneas. En este sentido, un equipo de investigación situado en el Imperial College de Londres situó sus investigaciones en un tipo de virus, los *geminivirus*, que tienen la enorme ventaja de poder transportar nuevos genes a las monocotiledóneas. La desventaja que tienen estos virus es que producen graves enfermedades a las plantas que infectan. Lo que ha conseguido el grupo de investigación del Imperial College de Londres es volver inocuos estos *geminivirus*, y ello lo lograron quitándoles el gen de una de las proteínas de la cubierta de las partículas del virus. Esto ha supuesto despojar al *geminivirus* su capacidad de producir graves enfermedades a la planta, y mantener al mismo tiempo su capacidad de infectar a la planta y, por tanto, habilitar su uso para transportar nuevos genes a las *monocotiledóneas*. Pero el proceso

no se acaba en la planta infectada, ya que la infección se extiende a las células reproductoras. Esto supone, en la práctica, la posibilidad de que los genes insertados en el *geminivirus* que infectan a plantas se transmitan a las generaciones futuras que de ellas derivan.

Otra técnica, que ha venido siendo desarrollada para la introducción de genes en las mocotiledóneas, es la que utiliza una especie de pistola que dispara pequeñas partículas de wolframio revestidas de ADN a un gran número de células del embrión en desarrollo de una planta. Esta técnica ha tenido un éxito relativo.

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 estas 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 solo es fiable y económicamente interesante en producciones a gran escala y para algunas de ellas: cebolla, remolacha azucarera, sorgo, girasol, zanahoria y plantas ornamentales.

La ingeniería genética permite suprimir la producción de polen en las plantas, lo que viene a significar la obtención de plantas estériles masculinas que pueden reconstituirse a través de un simple crecimiento sexuado.¹⁰² La esterilidad masculina de las plantas es muy importante

¹⁰² 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 esta 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*).

en agricultura, pues 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 sirve a la planta para incorporar las formas minerales (iones nitratos (NO_3^-) en su forma negativa, e iones amonio (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 ADN¹⁰³.

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 (NO_3^-) en su forma negativa e iones amonio (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).

La “revolución verde” (como se ha calificado al aumento de la producción agrícola a través del uso de fertilizantes, pesticidas e insecticidas de origen químico) trajo consigo un efecto no deseado: la contaminación. Este efecto no deseado llevó a investigadores de todo el mundo a estudiar alternativas viables a los productos químicos tradicionalmente utilizados. De éstas alternativas podemos destacar que: “Los pesticidas microbianos como la proteína de *Bacillus thuringiensis* (...) ofrecen una alternativa válida al control químico, y el uso de especies de *Rhizobium* modificadas genéticamente, con una mayor capacidad de fijación de nitrógeno puede hacer disminuir nuestra dependencia en fertilizantes nitrogenados” (Domínguez, 1994: 179).

Para el caso que aquí nos ocupa, el de los fertilizantes, el uso de abonos en base a nitratos ha tenido consecuencias nefastas para el medio ambiente, ya que ha supuesto la

¹⁰³ Recordemos que el nitrógeno es un elemento indispensable para la nutrición de las plantas.

contaminación de las capas freáticas. Ello es debido a que el lavado de los suelos por las lluvias arrastra el ion nitrato hacia esas capas.

Además del peligro de contaminación señalado más arriba, existe el riesgo que para la salud humana tiene el uso de fertilizantes basados en nitratos, no tan sólo para el agricultor que se ve expuesto a estos productos cuando los utiliza, sino también en el consumidor final de plantas como las espinacas y las lechugas que acumulan el nitrato en sus hojas y tallos. Otra consecuencia negativa asociada al uso de fertilizantes basados en nitratos es su posible incidencia en la salubridad del agua. Los principales problemas de salud asociados al exceso de nitrato en plantas y agua potable son las *metemoglobinemias* del lactante¹⁰⁴, y los riesgos de cáncer.

Frente a estas consecuencias negativas y riesgos que comporta el uso de abonos que utilizan nitratos, y que pese a todo aportan el beneficio de un aumento de la producción agrícola¹⁰⁵, las nuevas biotecnologías intentan dar respuestas. Una de ellas ha sido la de intentar mejorar la eficacia de la asimilación del nitrato por las plantas, lo que permitiría que disminuyeran las cantidades de abono necesarias para fertilizar los campos. Para ello es necesario llegar a conocer cuales son los mecanismos moleculares que utiliza la planta para absorber el nitrógeno a partir del suelo, y como incorpora éste a las moléculas orgánicas (proteínas y nucleótidos). Este es un paso necesario si se quiere llegar a intervenir con éxito en los enzimas que intervienen en el proceso de absorción y asimilación de nitrógeno de las

¹⁰⁴ Se trata de una acumulación en los glóbulos rojos de una hemoglobina inepta para el transporte de oxígeno.

¹⁰⁵ Recordemos que el uso generalizado e intensivo de fertilizantes basados en nitratos junto con la mecanización, la aplicación de insecticidas y fungicidas de mayor eficacia, y la mejora genética de las semillas empleadas (con la introducción de un gen de enanismo en el trigo, o la generalización de semillas híbridas en el maíz) han supuesto incrementos espectaculares en las principales cosechas. Como señala Pilar Carbonero Zalduegui: “Si examinamos la evolución de los rendimientos medios para las cosechas de maíz y trigo en Estados Unidos de Norteamérica entre 1930 y 1980 se observa que aquellos se han incrementado en, aproximadamente, un 300 % para el trigo y un 500 % para el maíz” (Carbonero, 1994: 159).

plantas. A medio plazo este conocimiento permitirá, a través de una manipulación genética de la planta, reducir la cantidad de nitratos que éstas necesitan para su crecimiento y, por tanto, supondrá un avance importante en la lucha contra la contaminación. Además, evitará las consecuencias negativas que para la salud humana tiene el uso de fertilizantes con nitratos. Otra de las respuestas aportadas por las nuevas biotecnologías a este campo ha sido la de incidir en el genoma de algunos de los diversos géneros bacterianos (como *Nitrosomas* y *Nitrobacter* que convierten en presencia de oxígeno el ion amonio (NH_4) en su forma positiva, que se libera durante la descomposición de los componentes orgánicos, en ion de nitrato (NO_3) en su forma negativa, a fin de mejorar el proceso por el cual dichas bacterias realizan la transformación mencionada. De lograrse esto las bacterias citadas, que se hallan en el suelo de forma natural, producirán el nitrato suficiente para el crecimiento de la planta y, por tanto, sustituirán a los fertilizantes que actualmente se utilizan.

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.¹⁰⁶ 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.

¹⁰⁶ 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): clorofillas 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 nuevas variedades de flores, y a la producción de colorantes alimenticios naturales.

La primera manipulación genética en plantas relacionada con la modificación de su pigmentación, mediante la transferencia de un gen de una especie a otra, la realizó en 1987 un equipo del Instituto Max Plank, de Colonia, dirigido por H. Saedler. Se trataba de lograr una nueva gama de colores para la Petunia (*Petunia Hybrida*). Para ello se introdujo en esta planta, mediante la técnica de *electroporación*¹⁰⁷, un gen de estructura que codifica la *enzima Dihidroflavona reductasa* (DFR) del maíz. Esto permitió la síntesis de la *pelargonidina* en la petunia. El resultado final fue la obtención de una gama de colores cercana al rojo ladrillo.

En otro experimento, realizado en 1988 en la Universidad Libre de Ámsterdam por un grupo de investigación dirigido por Joseph Mol, se obtuvieron petunias blancas. El experimento consistió en inhibir la vía de biosíntesis de los *antocianos* en el ámbito de una etapa enzimática precisa (en este caso fue en el ámbito de la *chalcona sintasa* (CHS)), y ello a fin de anular la síntesis de pigmentos. Este objetivo que se consiguió.

Es de esperar que las nuevas biotecnologías sean aplicadas a gran escala en un futuro no muy lejano para la obtención de nuevas pigmentaciones en flores y plantas, lo que aumentará notablemente el colorido y la belleza del mundo vegetal y alimenticio. Esto es sin duda positivo, pero no debemos olvidar tampoco que el cambio de colores puede afectar de alguna forma el comportamiento de libación de los insectos polinizadores, y por tanto perjudicar a la reproducción de las plantas. Es por ello que debemos tener en cuenta la gama de pigmentos que son capaces de distinguir los distintos insectos polinizadores. En este sentido: “La observación de las flores en ultravioleta demuestra que los pigmentos constituyen motivos detectables por los insectos. Por tanto, podrían servirles de guía durante su búsqueda del néctar” (Gantet y Dron, 1993: 814).

¹⁰⁷ Es decir, mediante choques eléctricos que abren poros en la membrana celular de *protoplastos*. Los *protoplastos* son células desprovistas de pared.

4.2. Nuevas biotecnologías aplicadas en los campos de los insecticidas y herbicidas

La ingeniería genética utilizada para la mejora de plantas está incidiendo 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 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, la creación de plantas con mayor resistencia a los herbicidas e insecticidas químicos tradicionales. Esta última estrategia es la que está teniendo un mayor éxito¹⁰⁸; 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 semillas¹⁰⁹.

Se utilizan varias técnicas para dotar a las plantas de una mayor resistencia a insecticidas y herbicidas.¹¹⁰ En una de las que más se utilizan, para el caso de los herbicidas, se siguen los siguientes pasos:

1º.- Se buscan estirpes de bacterias del suelo¹¹¹;

¹⁰⁸ Más adelante, concretamente en el capítulo quinto, al hablar del debate sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el Tercer Mundo, explicaremos más detalladamente las razones por las que esta estrategia está triunfando más que las otras dos citadas.

¹⁰⁹ En el capítulo quinto, al hablar de las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el Tercer Mundo, daremos cuenta detallada de estas compras de las empresas de semillas por parte de las transnacionales de la agroquímica.

¹¹⁰ Las técnicas que describiremos a continuación se utilizaron por primera vez en ensayos de resistencia al herbicida *Bromoxynil* en la planta del tabaco.

¹¹¹ Aquí se ve claramente la importancia de la ingeniería genética, ya que ésta posibilita el traspaso de genes entre distintos seres vivos, y ello aunque no sean de la misma especie. Las bacterias tienen una reproducción muchísimo más rápida que las plantas, y esto hace posible que su adaptación a los cambios del medio sea mayor. Por tanto, es en las bacterias de suelos en los que ya se han esparcido pesticidas o herbicidas donde con mayor probabilidad podemos encontrar organismos vivos con genes que les

2º.- se halla la bacteria resistente al herbicida concreto del cual se quiere proteger a la planta, se aísla el enzima que lo degrada y se pasa a secuenciar, a partir de la secuencia de aminoácidos, la estructura exacta del ADN que codifica este enzima;

3º.- conocida la estructura exacta se procede a buscar el gen que dota a la bacteria de la protección frente al herbicida. Se han encontrado tres clases de genes que sirven para dotar de mayor resistencia a las plantas a los pesticidas y herbicidas, refiriéndose a ellos:

“Un grupo de estos genes hace que la planta fabrique más cantidad de la sustancia que destruyen los herbicidas, con lo que es necesaria una mayor cantidad de herbicidas para destruir una planta. El segundo grupo cambia la naturaleza de la sustancia que destruye el herbicida -de hecho, una enzima-, de forma que el herbicida es ineficaz y no puede destruirla. El tercer grupo de genes protectores confiere a la planta la capacidad de desintoxicarse del herbicida, degradándolo y volviéndolo inocuo.” (Newell, 990: 145);

4º.- se inserta el gen en la planta. En este paso resulta esencial que el gen que es insertado pueda expresarse en los *cloroplastos*¹¹², puesto que es en ellos donde el herbicida actúa para matar a la planta al impedirle su fotosíntesis, y es precisamente en ellos donde la localización del gen permite a la enzima destructora del herbicida realizar dicha misión. Una de las estrategias de inserción que garantiza que el gen ocupe un lugar en los cloroplastos es la de insertar el mismo en todas las células de la planta. Además esta estrategia permite dotar de la resistencia conferida, al estar el gen en los óvulos o polen de la planta parental, a las generaciones futuras de

permiten estar adaptados a aquellos. La implantación de estos genes adaptados a insecticidas y herbicidas a la planta permite dotar a ésta de una mayor resistencia frente a ellos.

¹¹² Los *cloroplastos* son los gránulos verdes donde se produce la fotosíntesis.

plantas. El realizar esto implica implantar el gen que posibilita la resistencia al herbicida en una sola célula de la que después derivarán, por división celular, las demás células de la planta. Esto se logra gracias a la bacteria llamada *agrobacterium tumefaciens*. Esta bacteria tiene la peculiaridad de producir una especie de cáncer en la planta, a la cual infecta mediante la inserción de sus propios genes bacterianos en los núcleos de las células vegetales.¹¹³ Estos genes bacterianos producen en las células que los contienen un crecimiento incontrolado que provoca el desarrollo de un callo abultado tumoral donde las bacterias crecen y prosperan. Estas características de la *agrobacterium tumefaciens* la convierten en un vehículo ideal para, insertando en ella el gen protector del herbicida, transmitir el mismo al genoma de la planta. Antes de proceder a la inserción del gen protector del herbicida, a través de la *agrobacterium tumefaciens*, se procede mediante ingeniería genética a manipular dicha bacteria, y ello a fin de que la misma resulte inocua para la planta y no pueda producirle tumores. Se mantiene, sin embargo, la capacidad de la bacteria de introducir sus genes en el ADN de la planta. Conseguida la inocuidad de la *agrobacterium* se procede a insertar en la misma el gen clonado de la enzima que rompe el herbicida, seguidamente se infecta con la *agrobacterium* genéticamente manipulada una pequeña pieza de tejido vivo de la planta y, por último, se separan las células infectadas dejándolas crecer hasta que formen plantas individuales que contendrán, si todo sale conforme a lo previsto, el gen de resistencia al herbicida.

Otra técnica de ingeniería genética que se ha empleado es la de insertar una secuencia corta de ADN. Se utiliza un promotor que se expresa a través de cualquier gen, este promotor que se une solo a los cloroplastos, y que únicamente funciona en éstos, se une al gen que confiere resistencia al herbicida. Después se introduce el gen en la *Agrobacterium*, y a través de

¹¹³ Es importante señalar aquí que los propios genes de la planta no se distinguen de los genes de la bacteria.

ella en la planta. Con este procedimiento tan sencillo la enzima que destruye el herbicida se sintetiza en los cloroplastos. De esta forma éstos y las plantas obtenidas son prácticamente invulnerables al herbicida.

Los resultados obtenidos por las técnicas expuestas más arriba han sido positivos, puesto que los dos primeros grupos de genes ya han sido incorporados con éxito en plantas cultivables. El tercer grupo de genes cuya inserción permite a las plantas desintoxicarse de herbicidas ha sido más difícil de introducir. No obstante, en este tercer grupo de genes la firma Calgene consiguió a principios de los noventa implantar en la planta del tabaco una enzima que destruye un herbicida llamado *Bromoxynil*.¹¹⁴ Otra característica que hay que tener en cuenta de estos procedimientos es que los genes introducidos que dotan a las plantas de una mayor protección se heredan. Esto implica que el coste para el agricultor sea mucho menor que si el procedimiento de inserción tuviera que repetirse cada vez.¹¹⁵ Una desventaja importante, sin embargo, ha venido a retrasar el proceso aquí apuntado, y es que frente a la relativa facilidad que han mostrado las plantas pertenecientes al grupo de las *dicotiledóneas* para que les sean insertados nuevos genes, el mayor grupo de plantas cultivables, que pertenece al grupo de las *monocotiledóneas*, ha mostrado una gran dificultad para dicha inserción.

Existen algunos problemas relacionados con la dotación a las plantas de una mayor resistencia a los pesticidas y a los herbicidas que no debemos olvidar. En primer lugar, el proceder de esta forma hace posible emplear mayores dosis de éstos, con lo que podría aumentar

¹¹⁴ En el experimento realizado por Calgene las plantas de tabaco sujetas a experimento fueron rociadas de Bromoxynil en una cantidad ocho veces superior a la concentración máxima utilizada por los agricultores. Los resultados fueron que las plantas de tabaco rociadas con Bromoxynil no se vieron afectadas, en absoluto, por este pesticida. Los enzimas sintetizados a partir de los nuevos genes introducidos en las plantas habían conseguido transformar el herbicida en compuestos químicos inocuos.

¹¹⁵ No se nos escapa que esta ventaja viene limitada por el hecho de que estas plantas manipuladas genéticamente son estériles; y por lo tanto la heredabilidad apuntada como ventaja para el agricultor, por lo menos en cuanto a los costes, quedaría como meramente argumentativa; si no fuera porque antes de provocar la esterilización de estas plantas las industrias de mejora de semillas pueden obtener de unas pocas de ellas grandes cantidades. Esto implica que las empresas pueden obtener con poco coste este tipo de plantas, y por tanto venderlas más baratas a los campesinos.

la contaminación ambiental por sustancias químicas si se acaba por utilizar realmente esta mayor dosis. En segundo lugar, existe el peligro de que la resistencia a pesticidas y herbicidas con las que se doto a plantas de cultivo se traspase a malas hierbas de la misma especie. Esto supondría que los herbicidas utilizados para acabar con estas malas hierbas dejarían de ser útiles. En tercer lugar, los antibióticos usados como marcadores en este tipo de plantas pueden llegar a hacer inmunes a bacterias que en la actualidad son combatidos por ellos mismos.¹¹⁶

4.3. 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 autoprotegerse frente a determinados escarabajos. El mecanismo utilizado por esta planta para autoprotegerse frente a estos escarabajos es la producción de ciertas sustancias químicas que detienen en el insecto la secreción de la *tripsina*¹¹⁷. 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 citados más arriba fue transferir el gen del frijol fraile que corresponde al inhibidor de la tripsina a plantas de tabaco. El resultado que

¹¹⁶ Estos y otros problemas relacionados con la aplicación de las nuevas biotecnologías en plantas los veremos más adelante, concretamente en el capítulo quinto de esta tesis al hablar sobre el debate existente sobre el riesgo en sus aplicaciones.

¹¹⁷ La *tripsina* es la enzima digestiva que degrada las proteínas vegetales en el intestino del escarabajo, y permite la absorción de dichas proteínas.

obtuvieron fue muy alentador, puesto que consiguieron que las plantas de tabaco se autoprotegieran de los insectos que normalmente las atacan, matándolos. Esto abre la puerta a que, encontrando la manera de hacerlo, insertando éste u otros genes autoprotectores, las propias plantas se autoprotejan eficazmente frente a los insectos que les son dañinos, y ello sin necesidad de insecticidas químicos.

Una estrategia muy novedosa, en el campo de las nuevas biotecnologías que tienen el objetivo de dotar a las plantas de protección frente a los insectos, fue la adoptada por un Centro de Investigación de la Universidad de Durham. En dicho Centro Charlie Shaw tuvo la idea de usar la forma en como las agrobacterias se alojan en las plantas heridas para atacarlas, y convertir a éstas en protectoras en vez de dañinas. El proceso de infección por el cual la *Agrobacterium* infecta a las plantas está controlado por algunos genes que son activados cuando una planta herida exuda hasta un nivel dado cierta sustancia química. Ésta es la que indica a la bacteria que debe prepararse, pues la planta herida se encuentra muy cerca.

Lo que logró Charlie Shaw y sus colaboradores fue identificar la secuencia de ADN de la *Agrobacterium* responsable de activar los genes bacterianos responsables de la invasión de las plantas. Este equipo de investigación también logró unir la secuencia activadora con otros genes aislados de otras bacterias productoras de sustancias químicas que atacan a insectos dañinos, e insertó en la *Agrobacterium* dichos genes. Lo que se obtuvo fue una bacteria que se desplaza a plantas que se encuentran heridas para responder a las señales químicas que producen, pero que cuando se halla cerca de ésta en vez de atacarla y dañarla produce un insecticida natural.

De funcionar esta estrategia a mayor escala supondría un enorme ahorro en insecticidas, pues los insectos suelen atacar a las plantas heridas y no a las sanas. Los insecticidas actuales, sin embargo, son rociados tanto en plantas heridas como en plantas totalmente sanas que no necesitan, o tienen menor necesidad de ellos.

4.4. 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*. Pero expliquemos con más detalle como se desarrolla todo el proceso de infección vírica, y como actúa el *ARN antisentido* para convertir a la planta en invulnerable a tal infección.

Un virus infecta una planta insertando 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.

Al expresarse un gen (es decir, cuando las instrucciones que le son propias se ejecutan y la célula que lo contiene sintetiza componentes proteicos nuevos), lo que hace de acuerdo con las instrucciones que recibe, sucede lo siguiente: primero el gen que se halla en dos espirales de ADN que se encuentran enrolladas una sobre otra; segundo las hebras espirales se desenrollan, quedando todo a lo largo en disposición de ser copiadas; tercero se produce la copia de una hebra, saliendo del núcleo donde están los genes almacenados la copia resultante, y desplazándose la misma a la región externa del núcleo que se llama *citoplasma celular*.

La hebra de ARN, muy parecida químicamente a la del ADN, se traslada a un *ribosoma*¹¹⁸ en un proceso conocido como translación o traducción. Este ARN se traduce en

¹¹⁸ Los *ribosomas* constituyen uno de los muchos *orgánulos citoplasmáticos* en los cuales las instrucciones de los genes son traducidas en proteínas nuevas

proteínas y debe estar en forma de hebra sencilla, puesto que cuando una proteína nueva se ensambla en el *ribosoma* el proceso debe producirse a lo largo de toda la molécula de ARN utilizada como molde.

Lo que se produce con la infección de un virus en una planta es que éste introduce sus genes en las células de ésta, 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.

Llegados a este punto ya podemos explicar en qué consiste el llamado ARN antisentido. La idea que hay detrás de él es la de introducir en la planta un gen extra que la defienda contra un virus determinado. Este gen tendría la misión de impedir que el mensajero del virus pudiera llegar al ribosoma, lo que impediría que el virus pudiera replicarse, y por tanto sería como si la célula de la planta no hubiese sido infectada nunca por éste. Esto sería posible gracias a que el proceso de copia del gen protector para producir ARN implica un mensaje que anula el mensaje del mensajero vírico. Ello ocurre al ser la secuencia de bases del gen protector complementaria de la secuencia de bases del gen vírico, y al hecho de que secuencias complementarias de ARN se atraen mutuamente. Lo que supone que si una hebra de ARN mensajero de un gen vírico, yendo hacia un ribosoma, donde va a traducirse en una proteína vírica nueva, se encuentra con una hebra de ARN complementario del gen protector, ambas se pegaran en toda su extensión debido a su atracción mutua. La consecuencia de esto es que el ARN mensajero vírico ya no puede llevar ningún mensaje, ya que para poderlo hacer debería estar en forma de hebra simple, o de lo contrario no podría traducirse. El mensaje del ARN vírico es por tanto anulado por el antimensaje que supone la secuencia de ARN antisentido que produce el gen protector introducido.

Son evidentes las ventajas de la introducción de genes que produzcan secuencias de ARN antisentido como mecanismo contra las enfermedades víricas en plantas, ventajas que

pueden suponer una mejora de la salud, en general, de las mismas. Por otra parte, a estas evidentes ventajas hay que añadir la posibilidad de que interviniendo en determinadas plantas sus descendientes heredaran la protección a ellas conferidas mediante la introducción de genes productores de secuencias de ARN antisentido.

4.5. Nuevas biotecnologías aplicadas a dotar de características polivalentes a las plantas

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”. 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 las características deseadas en una planta, y que éstos le sean insertados a ésta a fin de dotarla de aquéllas. 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 nitrogenados, o por lo menos disminuir la cantidad que se necesita de ellos¹¹⁹; ser fabricas de proteínas, enzimas, y medicamentos. Estos son tan sólo algunos ejemplos de las múltiples posibilidades que se abren en este campo. Las plantas del

¹¹⁹ 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 utilizaran 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.

futuro, de seguir la tendencia apuntada, serán plantas súper especializadas y dependientes en gran medida de los laboratorios que las diseñen.¹²⁰

La fijación del *dinitrógeno* es muy importante, sobre todo para los países del “Tercer Mundo”, 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 la capacidad, sin la necesidad de bacterias que hagan este trabajo en su lugar, de fijar dinitrógeno por ellas mismas.

Existe, sin embargo, una dificultad para alcanzar la fijación del dinitrógeno, y es la de que dicho proceso no es monogenético sino plurigenético. Esto complica 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 hemos dado en llamar “plantas de diseño”, y que incluirán otras características como: la mejora proteínica, la mayor resistencia a pesticidas, herbicidas o su propia capacidad de ser insecticida o herbicida.

¹²⁰ Las consecuencias sociales que se extraen de este hecho son importantes. En primer lugar, se produce un cambio de centro en la agricultura, que pasa del agricultor a las compañías que diseñan la planta o las semillas. En segundo lugar, las sociedades del “Tercer Mundo” pasan a depender aún en mayor medida de las compañías transnacionales del “Primer Mundo” en un terreno en el que, aportando ellas la diversidad genética, se verán abocadas a ser las consumidoras de los nuevos productos agrícolas. Esto ocurre porque la agricultura tradicional no podrá competir con la agricultura comercial que surja de las nuevas biotecnologías. De hecho, esto no es nuevo, ya ocurrió lo mismo con la “revolución verde”. La diferencia estriba en que las nuevas biotecnologías permitirán un mayor control, y en menos manos, de la agricultura mundial.

Frente a las enormes ventajas que proporcionan las nuevas biotecnologías con relación a la mejora de las plantas¹²¹ existe el riesgo de que éstas se constituyan en campo propicio para el monopolio de grandes compañías. Esto perjudicaría claramente a los países del “Tercer Mundo” que dependen esencialmente de sus agriculturas, al hacerlos más dependientes de las transnacionales del “Primer Mundo”. La limitación de estos perjuicios, o incluso el balance positivo para estos países más pobres dependerá en buena medida de las legislaciones que sobre protección de las invenciones biotecnológicas realicen los países ricos. Pues bien, como veremos más adelante dicha legislación protege claramente los intereses de las transnacionales, y perjudica en gran medida a los países del “Tercer Mundo”.

5. Nuevas biotecnologías en animales

Fue en 1982 cuando Richard Palmiter, Ralph Brinster, y sus colegas de las Universidades de Seattle, Filadelfia y San Diego 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 huevos 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;

¹²¹ Tres ventajas considerables serán: conocer con mayor profundidad y exactitud el patrimonio genético de la humanidad en plantas, lo que nos permitirá valorar la diversidad genética de ellas, así sus formas de combinación y manipulación genética resultarán más beneficiosas para el Hombre; dotar a las plantas, a través de manipulación genética, de resistencia al frío o al calor, lo que posibilitará reducir las consecuencias desastrosas que se esperan para algunas zonas del planeta a causa del cambio climático; posibilitar la eliminación de los genes responsables de la producción de cianuro en dos cultivos muy importantes en las zonas tropicales (la casava y el taro), además de insertar en ellos genes con un mayor contenido en proteínas, esto supondrá una mejora en la dieta, y con ella en la salud, de enormes áreas de África.

c) animales resistentes a enfermedades” (Enjuanes et al., 1994: 154).

Respecto a los animales transgénicos existen tres aspectos que no debemos olvidar: el primero de ellos es que más de un 90% de los mamíferos transgénicos siguen siendo ratones destinados a la experimentación en laboratorio; el segundo es que todavía no existe suficiente conocimiento sobre las consecuencias que su liberación en el medio ambiente puede provocar, por lo que se deben guardar las mayores medidas de seguridad en los laboratorios en donde éstos se hayan confinados; el tercero se refiere a que antes de comercializar cualquier producto obtenido de un animal transgénico destinado al consumo humano se deben evaluar sus posibles riesgos toxicológicos.

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 insulinodependiente, 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 por ejemplo de la leche que produzca un animal¹²². En el mismo sentido de 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

¹²² Recordemos que la manera más sencilla para obtener una proteína recombinante es a través de un fluido biológico. En este sentido, la leche es el fluido que mejor sirve para esta función, ya que: es fácil de extraer del animal, se obtiene de forma abundante, es rica en proteínas, está desprovista de *proteasas*, y se segregan en un compartimiento relativamente aislado del resto del cuerpo. Respecto a las sustancias útiles que se pueden obtener a través de la trasferencia genética debemos decir que para nosotros sólo están justificadas cuando, respetando cierto compromiso ético del hombre con los animales, que obliga a éste a no causar a aquél un sufrimiento innecesario, se trate de proteínas que tengan una estructura compleja, se tengan que producir éstas en una cantidad elevada, y se tenga una gran necesidad de ellas. Este es el caso, por ejemplo, de: las hormonas, factores de crecimiento, factores de coagulación, factores antitrombóticos, anticuerpos destinados a la vacunación y al diagnóstico, enzimas, y los anticuerpos monoclonales por las múltiples aplicaciones a las que pueden ser sometidos.

este animal puedan utilizarse en transplantes para el hombre. A este respecto: “El instituto científico Roslin, de Edimburgo, en Escocia, el mismo que creo 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 transplantes 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 viene usándose 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, etc.) 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, como 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 expresa¹²³; utilizando *retrovirus* como vectores transmisores en la transferencia

¹²³ 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 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

genética¹²⁴; 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 blastocistos*)¹²⁵.

La ingeniería genética abre la posibilidad, como apuntábamos más arriba, de convertir a los animales en biorreactores que produzcan sustancias de alto valor terapéutico para algunas enfermedades humanas. Así sustancias como la insulina o los factores de coagulación de la sangre serán producidos en animales a través de la inserción y clonación de los genes humanos apropiados, junto con las correspondientes sustancias de control que posibilitan que los genes insertados fabriquen la sustancia prevista en la parte del animal más adecuada. De esta forma genes humanos serán activados, por ejemplo, en las ubres de las vacas. Lo que permitirá que de una forma relativamente sencilla y barata se puedan extraer de la leche las sustancias producidas por los genes insertados. Existe todavía la dificultad de insertar en el lugar adecuado el gen.

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.

¹²⁴ 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.

¹²⁵ 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 quireras, 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 hacer constar 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 quireras, 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.

Pero al respecto las técnicas de inserción están avanzando de forma rápida, y cada vez están acercándose más a ese objetivo de exactitud que se espera que alcancaran en un período de tiempo relativamente corto.

La importancia de insertar el gen en el lugar exacto que le corresponde es debida a que (si bien es cierto que las células han mostrado su gran capacidad para tolerar los genes extra que se les introducen) la eficacia del funcionamiento de los genes introducidos, y su transmisión a las generaciones futuras, depende de que aquél sea situado de forma precisa y exacta en los cromosomas. Este requisito de exactitud y precisión es aún más importante, si cabe, en las inserciones plurigenéticas. En ellas varios genes se extraen de uno o varios organismos para introducirse en otro. En este caso, de la posición relativa que ocupan en los cromosomas los genes introducidos depende el adecuado funcionamiento de éstos.

5.1. Nuevas biotecnologías como mejoradoras de la producción y la calidad de productos extraídos de los animales.

Desde hace tiempo existe el conocimiento de que las hormonas tienen un gran potencial para aumentar la producción, y el valor nutritivo de los productos que el hombre extrae de algunos animales. No obstante, el coste prohibitivo que suponía la extracción de las hormonas queridas de los animales, y la imposibilidad de sintetizar artificialmente las grandes moléculas de proteínas que constituyen algunas hormonas impidieron que existiera una gran utilización de las mismas. La ingeniería genética cambia esta situación al permitir extraer el gen de una hormona de un animal, y transferirlo a cultivos celulares *in vitro* para su clonación. Esto ha supuesto obtener hormonas de una forma relativamente fácil y económica.

Fue en 1985 cuando se logró por primera vez producir a través de ingeniería genética una hormona. En ese año los científicos de la compañía Monsanto consiguieron producir *somatropina bobina* (BST), una hormona que se produce naturalmente en la *hipófisis* de la vaca

y que se encarga de estimular la conversión de alimento en leche en vez de en grasa. Esto hace que la producción de la leche aumente alrededor de un 25% según algunas estimaciones, otras rebajan dicho aumento de producción y lo sitúan entre el 10% y el 12%.¹²⁶ La leche obtenida es químicamente idéntica a la de las vacas no tratadas con BST, por lo que no parece que vaya a tener ninguna repercusión negativa en la salud de los consumidores. Otro tema es el de si la calidad de vida de las vacas se empeora sustancialmente sometiéndolas a este tratamiento.

Otra hormona animal de gran interés es la *somatropina del cerdo* (PST). Ésta se produce de forma similar a la BST, y es administrada a los cerdos en las últimas 8 ó 6 semanas antes de su envío al mercado. La PST aumenta la tasa de crecimiento del animal y hace que su carne sea más magra, aumentando de esta forma su calidad.

Debemos hacer notar que tanto la BST como la PST son hormonas específicas de cada especie animal y que, por tanto, no deben temerse efectos secundarios en humanos debidos al consumo de carne o leche de animales tratados con estas hormonas. En dicho tratamiento existe el inconveniente de que para que el mismo sea efectivo cada animal debe ser inyectado frecuentemente, sin embargo esto puede ser evitado mediante la utilización de bolitas implantadas que liberan la hormona de forma continua y a velocidad controlada.

Otra técnica ensayada para la BST, y que evita las inyecciones diarias o las periódicas inserciones de bolitas liberadoras de la hormona, es la que se basa en el procedimiento de inyectar la hormona en cuestión en ratones, ratones que fabricaran los anticuerpos anti-BST. Éstos se sintetizan como anticuerpos monoclonales y después se inyectan en las vacas, vacas que fabricarán anticuerpos de los anticuerpos anti-BST. Lo que ocurre aquí es que inyectando el

¹²⁶ La primera cifra la hemos extraído de J. Newell: *Manipuladores de genes*, Ed. Pirámide, Madrid, 1990, p. 176. La segunda cifra se encuentra en J. Smith (ed.): *L'avenir des biotechnologies en Europe. De la recherche-développement à la compétitivité de l'industrie*, compte rendus de la conference organisée par le Club de Bruselas les 26 et 27 setembre avec le soutien de la Comisión Europea (DG XII), Ed. Club de Bruselas, Bruxelles, 1996, p. 192.

anticuerpo anti-BST en vacas, éstas fabricaran una sustancia tan parecida a la BST que, probablemente, se comportara como ésta. Esto implica que, al continuar mucho tiempo después de la inyección la producción del anticuerpo, la vaca produzca una sustancia similar a la BST durante un largo período. Otra ventaja de esta técnica es que permite un control mayor sobre los efectos que se desean obtener con la inserción de la hormona.¹²⁷ Ésta es una ventaja importante, ya que aislando exactamente una pequeña parte de la molécula BST, de la que depende un efecto particular deseado, se puede obtener únicamente éste.

Existe una forma directa para conseguir el aumento de producción de una hormona en un animal, la de implantar en éste genes extras de la hormona en cuestión. Esto ya lo hizo en 1982 el doctor David Palmiter que produjo el denominado “Ratón gigante” inyectando un gen de una hormona humana de crecimiento, al que iba pegada una secuencia de control de la expresión del gen en los núcleos fecundados del ratón. En 1987 genes de hormonas humanas de crecimiento se insertaron en ovejas y cerdos.

Este procedimiento, sin embargo, dista mucho de carecer de problemas. Así en cerdos, frente a la evidente ventaja de la reducción espectacular de los niveles de grasa y la mejora de la eficacia en la metabolización del alimento, se han observado los inconvenientes de que los animales tratados tienden a sufrir artritis y a ser infériles. Estos inconvenientes se espera que serán eliminados cuando aumente el conocimiento sobre la inserción, y el control de los efectos de los genes extras insertados en el organismo del animal.

Las aves son también objeto de interés para las nuevas biotecnologías, dicho interés se ha plasmado en la creación de aves transgénicas. En efecto, ya a finales de la década de los ochenta el doctor Robert Bosselman, de la empresa de ingeniería genética Amgen, consiguió

¹²⁷ No olvidemos al respecto que la BST consiste en una molécula grande y compleja que posee varios efectos potentes y diversos, ya que no solo estimula la formación del tejido muscular, sino que también eleva el nivel de azúcar en sangre y estimula la *lipólisis*.

insertar genes de otros animales en aves con una técnica que no utilizaba virus nocivos para las mismas.¹²⁸ Las aves intervenidas por el doctor Bosselman, e incluso algunos de sus descendientes, fueron capaces de mantener en sus organismos los genes extras que les fueron insertados.

El procedimiento utilizado para lograr aves transgénicas fue el siguiente: en primer lugar, se insertó el gen en el virus (*retrovirus*), al que previamente se trató para convertirlo en inocuo, mediante técnicas corrientes de ingeniería genética; en segundo lugar, se inyectó a través de la cascara del huevo el virus y se esperó a que el mismo infectara el embrión del pollo.¹²⁹ La consecuencia fue que cuando el pollito salió del huevo y se convirtió en gallina o gallo portaba el gen añadido en la mayoría de sus células. Incluso, en algunos casos, lo portaba en sus células germinales. Lo que permitió que el gen insertado pasara a sus descendientes.

El conseguir pollos transgénicos tiene las ventajas de: dotar a éstos de una inmunidad natural frente a enfermedades víricas que acaban con su muerte, y que por otra parte son muy frecuentes dadas las condiciones en que se encuentran los pollos en sus criaderos industriales; hacer que crezcan más rápidamente; posibilitar su utilización como biorreactores vivientes para producir fármacos médicos (como sustancias naturales humanas de control: interferón, insulina, etc.), de los cuales podríamos disponer a través de los huevos¹³⁰.

¹²⁸ Recordemos que para los primeros experimentos de inserción de genes extras en aves se utilizaron virus que resultaron ser nocivos para éstas. La novedad de los experimentos realizados por el doctor Bosseman es que éste utilizó virus que previamente a la inserción en el animal se habían hecho inofensivos mediante manipulación genética. El tipo de virus utilizados fue el del *retrovirus*, virus que tiene la gran ventaja de insertar sus propios genes directamente en los genes de las células que infectan.

¹²⁹ El virus infecta la mayor parte de las células del embrión del pollo en desarrollo. Sin embargo, al no replicarse el virus, gracias a la manipulación en él efectuada, no resulta dañino.

¹³⁰ La idea que hay detrás de usar los huevos como biorreactores vivientes para producir fármacos de alto valor médico se basa en la sustitución del gen responsable de la proteína *albúmina*, que es el principal constituyente de la clara del huevo, y que se fabrica dentro de éste a gran velocidad, por el gen productor de la sustancia valiosa.

Otras de las mejoras que las nuevas biotecnologías persiguen es la de lograr que los animales mejoren la absorción de los alimentos, lo cual les haría crecer más rápidamente y con menos necesidad de éstos. También persiguen el cambio de alimentación en algunas especies animales, y ello a fin de que ésta resulte más económica.

Una de las técnicas utilizadas por los ingenieros genéticos, y que van hacia el objetivo de conseguir que vacas y ovejas puedan digerir más alimento, es la de insertar más genes de las enzimas que degradan la celulosa en las bacterias del rumen, y reimplantar esas bacterias manipuladas en aquéllas. También se han insertado en las bacterias del rumen genes de enzimas que degradan la *lignina*¹³¹. Otra de las posibilidades contempladas ha sido la de insertar los genes de las celulosas en las bacterias que viven en el forraje de los silos, hierba apilada que se utiliza como comida para ganado en invierno. Se espera en este caso que las bacterias sean capaces de degradar las paredes celulares de la hierba, y que de esta forma se conviertan en azúcares digeribles. Esto aumentaría notablemente el valor alimenticio del forraje.

Siguiendo esta línea los doctores Harry Gilbert y Judith Hall del Departamento de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad de Newcastle habían identificado ya, a finales de la década de los ochenta, unas veinte celulosas bacterianas y clonado algunos de sus genes, mostrando que los genes bacterianos pueden funcionar en animales superiores.¹³² Gilbert y Hall creen que la ingeniería genética hará posible que a un cerdo, a través de la inserción en el mismo del gen que fabrica la enzima que digiere la celulosa, se le pueda incorporar en la dieta mayor cantidad de material vegetal que la que se le suministra actualmente. Esto bajaría notablemente los costes de alimentación de estos animales.

¹³¹ La *lignina* es una sustancia dura que abunda en la madera seca.

¹³² Lo contrario, es decir que los genes de animales funcionen en bacterias, es la base de mayoría de los casos de clonación.

5.2. Nuevas biotecnologías aplicadas a que los animales produzcan importantes sustancias humanas

La idea que hay detrás de las nuevas biotecnologías aplicadas a que los animales produzcan importantes sustancias humanas es la de convertir éstos en biorreactores vivientes. En 1989 John Clark y sus colegas del Instituto de Fisiología Animal e Investigación Genética de Edimburgo ya habían producido ovejas que podían separar dos importantes sustancias humanas de control: El *Factor IX* (que es una de las sustancias necesarias para la coagulación de la sangre), y la *antitripsina* (que es utilizada para el tratamiento de algunas enfermedades pulmonares). La producción de estas ovejas se produjo inyectando genes humanos clonados del *Factor IX* y de la *antitripsina* en *zigotos* de oveja, después se reimplantaron estos cigotos en los úteros de las madres para su desarrollo y crecimiento. Como se deseaba que las sustancias se encontraran en la leche de las ovejas se añadieron, a los genes insertados, secuencias de control que aseguraran que los mismos se activaran solo en el tejido de las ubres productoras de leche. El resultado obtenido por el doctor Clark y sus colegas fue satisfactorio, ya que tanto el *Factor IX* como la *antitripsina* se encontraron en la leche de las ovejas transgénicas, pasando los genes que expresaban a estas sustancias a algunos de los descendientes de las mismas.

El uso de animales como biorreactores vivientes tiene la ventaja, frente a cultivos bacterianos como la *E. Coli*, de producir las sustancias humanas de la misma forma que las células humanas. Además, a diferencia de los cultivos celulares, una vez obtenido un animal capaz de producir la sustancia farmacéutica valiosa no se necesita un laboratorio para alojarlo. No hay ninguna razón para que ovejas o vacas que produzcan sustancias como, por ejemplo, factores de coagulación, *antitripsina* o insulina no vivan y se alimenten como otras ovejas, vacas. Tampoco se vislumbra ninguna razón para que en un mismo animal transgénico no se puedan inyectar diversos genes a fin de que produzca diversas sustancias de utilidad para el hombre.

Uno de los grupos de animales que más posibilidades tiene de utilizarse como biorreactores vivientes es el de los gusanos. Los gusanos tienen un gran potencial para ello, potencial que depende más de los virus que los infectan y matan (los llamados *baculovirus*)¹³³ que de ellos mismos.

La idea consiste en sustituir el gen que produce la proteína de la cubierta de las partículas del virus por el gen de un producto valioso. De esta forma las células del gusano infectado con el virus se verán obligadas a producir la proteína valiosa en la misma cantidad en la que hubieran fabricado la proteína de la cubierta del virus.¹³⁴ En la práctica esto significa que un gusano de un tamaño de 3 centímetros puede producir de 3 a 5 miligramos de una sustancia valiosa. Teniendo en cuenta que se pueden criar miles de millones de gusanos a un coste no muy elevado, nos encontramos que los mismos están llamados a ser los productores futuros de enormes cantidades de sustancias de interés para el diagnóstico, vacunas, agentes terapéuticos, etc.¹³⁵

Uno de los grupos pioneros y a la cabeza de la clonación de virus de gusanos, el que dirige el doctor Bishop en el Instituto de Virología de Oxford, considera que los *baculovirus* por su capacidad de infectar a los gusanos pueden ser:

- 1º.- Utilizados en ensayos de diagnóstico de la hepatitis B y del HIV;
- 2º.- utilizados para producir vacunas y sustancias humanas de control como las *iterlucinas* u otras;

¹³³ Los *baculovirus* tienen al fin de la vida del gusano una capacidad asombrosa para reproducirse con rapidez. Tal es así que al producirse la muerte del gusano más de la mitad del peso del mismo corresponde a una proteína producida por el *baculovirus*. La proteína a la que nos referimos es la cubierta de las partículas del virus, dichas partículas pueden llegar a sobrevivir varios años antes de infectar a otro gusano huésped y volver a replicarse de nuevo.

¹³⁴ La idea fue llevada a término con éxito por el Doctor David Bishop del Instituto de Virología de Oxford.

¹³⁵ De hecho, ya hay sustancias que se están obteniendo a través de los *baculovirus*. Sustancias, por ejemplo, para diagnosticar la hepatitis B o el HIV.

3º.- utilizados para introducir en el gusano genes productores de enzimas necesarios en la producción de antibióticos¹³⁶;

4º.- aumentar su capacidad natural de matar insectos, y convertirlos así en insecticidas valiosos.¹³⁷

Existen en la actualidad varios productos farmacológicos obtenidos a través de animales transgénicos: la *α-1 antitripsina* para el enfisema pulmonar; el *activador del plasminógeno* para la oclusión coronaria; la *lactoferrina* para usos antibacterianos; la *hormona del crecimiento* para el desarrollo tanto de animales como de personas; las *Immunoglobinas* cuyo uso es terapéutico. Esta lista por sí sola da cuenta de la importancia que van adquiriendo los animales como biorreactores vivientes que producen fármacos a un coste competitivo. Es de esperar que en un futuro no muy lejano nuevas sustancias de interés para el hombre se añadan a los productos ya indicados.

5.3. Nuevas biotecnologías aplicadas a la salud animal

La salud de los animales es uno de los campos donde las nuevas biotecnologías inciden de una forma más clara. Éstas, de hecho, juegan ya un papel muy importante en el diseño de vacunas. El cuadro que presentamos a continuación nos da buena cuenta de ello.

¹³⁶ Recordemos que existen antibióticos que se producen por hongos o *etreptomicetos* que son difíciles de extraer y procesar a partir de los organismos productores originarios.

¹³⁷ Dos son los aspectos que se deben solventar antes de utilizar los *baculovirus*: el primero de ellos es el de eliminar la posibilidad de que puedan recombinarse con otros virus, o mutar para matar a insectos beneficiosos, en este sentido los científicos del Instituto de Virología de Oxford consiguieron demostrar que aislando un gen de una parte de la cubierta del *baculovirus* éste no persiste, aunque sigue siendo específico y eficaz para matar a su hospedador; el segundo aspecto está relacionado con la propia mortalidad que ocasiona el *baculovirus*, y que se produce demasiado lentamente con relación al daño que producen las plagas. Aquí existe la posibilidad de insertar en él genes de toxinas letales que lo hagan más mortífero, de forma que pueda matar a los insectos hospedadores tan pronto como los infecte. Los aspectos aquí considerados los hemos extraído de Newell, op. cit., pp. 190-191.

CUADRO 2.3.
PRIORIDADES EN EL DISEÑO DE VACUNAS PARA LA SALUD ANIMAL

Bovino	Brucelosis Encefalitis subaguda bovina (BSE) Tuberculosis Diarreas neonatales Infecciones respiratorias bacterianas
Porcino	Enfermedad <<misteriosa>> (togavirus productor de aborto) Peste porcina africana Diarreas neonatales (gastroenteritis porcina transmisible, diarrea, epidemia porcina) Infecciones respiratorias bacterianas
Cunicular	Enfermedad hemorrágica de los conejos
Equinos	Peste equina africana
Aves	Enfermedad de Newcastle
Peces	Necrosis pancreática en truchas
Perros	Moquillo Rabia
Gatos	Peritonitis infecciosa Inmunodeficiencia felina (modelo para SIDA)

FUENTE: Enjuanes et al. (1994: 151)

El cuadro muestra la variedad e importancia de las enfermedades que afectan a animales para las que se están diseñando vacunas. Este diseño de vacunas se centra fundamentalmente en inducir inmunidad a las mucosas¹³⁸, y ello para proteger al animal contra infecciones de tipo respiratorio y entéricas.

No entraremos aquí a explicar las etapas y procesos que se siguen para desarrollar las vacunas de las que estamos hablando. Bástenos de momento recordar las etapas en el desarrollo de vacunas: “1^a. Estudio de la biología molecular del agente infectivo, 2^a. Kits de diagnóstico, 3^a. Vacunas convencionales, 4^a. Vacunas infectivas de nueva generación, 5^a. Vacunas

¹³⁸ No olvidemos que la mayor parte de los virus infectan las mucosas o las utilizan como vía de entrada al organismo, de ahí la importancia de desarrollar vacunas que precisamente vayan en el sentido de inducir inmunidad secretoria.

defectivas, 6^a. Inmunidad intracelular, 7^a. Animales transgénicos resistentes” (Enjuanes et al., 1994: 152).

Existen distintos vectores que se usan como vacunas para la inducción de inmunidad secretoria. Éstos se basan en que la presencia del antígeno en los tejidos linfoides asociados al intestino es el mejor procedimiento para que se produzca la inducción de inmunidad en todas las mucosas. Entre los vectores que actualmente se utilizan destacamos por su importancia los *procarióticos* (que son formas atenuadas de *Salmonella typhimurium*), los *eucarióticos* (que son *adenovirus* humanos) y los *coronavirus* defectivos. Los vectores al entrar en una célula multiplican por miles el antígeno viral, esto les hace ser muy efectivos en la inmunización. Además, al carecer de una proteína esencial que les completa la producción de nuevos virus infectivos no pueden pasar a otros tejidos o especies animales, o revivir en formas virulentas. Lo que implica que estas vacunas son seguras.

6. 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 permanece atónita en algunas ocasiones por los avances de las técnicas que inciden en la materia viva. No entraremos aquí a valorar desde un punto de vista ético las consecuencias de la aplicación de estas técnicas en el cuerpo humano, ello lo haremos con detalle más adelante, concretamente en el capítulo quinto de esta tesis al hablar del debate ético sobre las nuevas biotecnologías. De momento nos limitaremos a describir en qué consisten, y qué pretenden conseguir esas biotecnologías aplicadas al ser humano.

Son evidentes los progresos que se han realizado en los últimos años en el conocimiento del genoma humano. Ello ha sido posible, 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.

6.1. El Proyecto Genoma Humano

Históricamente la génesis del Proyecto Genoma Humano se sitúa en Estados Unidos de Norteamérica, concretamente es en una Universidad de California, Santa Cruz, donde en 1984 su rector Robert Sisnheimer planteó por primera vez la idea de fundar un Instituto para secuenciar el genoma humano.¹³⁹ En mayo de 1985 Sisnheimer convocó una reunión a la que acudieron algunos de los mejores biólogos moleculares de Estados Unidos de Norteamérica. Esta reunión tenía como objetivo estudiar la mejor forma de llevar a cabo la secuenciación del genoma humano.

Faltaríamos a la verdad si dijéramos que en esta primera reunión existía un total consenso entre los participantes en: formas, contenidos y consecuencias de un gran proyecto de secuenciación del genoma humano. Resulta significativo lo que al respecto de dicha reunión dijo Norton Zinder, profesor de genética molecular de la Universidad Rockefeller de Nueva York, y que encontramos citado por Tom Wilkie: “Al principio casi todos los científicos de la reunión de 1985 se mostraron muy escépticos. Se adoptaron posturas, casi diametralmente opuestas. La primera aseguraba que nunca aprenderíamos lo suficiente como para que el

¹³⁹ Nos interesa señalar aquí que la idea surge en un contexto donde la gran parte de los fondos para investigación se están dedicando a grandes proyectos, “gran ciencia”. No olvidemos que en ese mismo año la Universidad de California había recibido 36 millones de dólares para construir un telescopio de 10 metros en el observatorio Lick; y que en ese mismo año los físicos que se hallaban estudiando los componentes fundamentales de la materia (las partículas elementales) iniciaban su campaña para obtener los fondos que les permitieran la construcción de un costoso y gigantesco acelerador de partículas, el túnel de colisión SSC cuyo precio se calculaba en varios miles de millones de dólares. Es en este contexto donde la “gran ciencia” se lleva gran parte de los recursos destinados a investigación donde la genética se mueve. Es por tanto necesario para ésta encontrar su propio gran proyecto que le permita competir en igualdad de condiciones por los recursos disponibles, competir por éstos con la “gran ciencia” de otras áreas de conocimiento se convierte en un objetivo esencial para la genética. Este gran proyecto finalmente lo encontró en la secuenciación del genoma humano.

esfuerzo y los gastos valieran la pena. Esta opinión se basaba, en parte en el hecho de que aproximadamente el 90% del genoma humano no parece tener función alguna... También había entre éstos quienes opinaban que los grandes programas de ciencia aplicada desvirtuaban el proceder de la ciencia. Por otro lado, estaban los que se creían que íbamos a aprender demasiado. Tener acceso al genoma humano podría engendrar infinitos pretextos para que las empresas y las compañías de seguros discriminaran a las personas por motivos genéticos. Incluso podría inducir a medidas eugenésicas de tipo nazi. Como mínimo, el número de genes conocidos se multiplicaría, pero aún tendría que transcurrir mucho tiempo entre la identificación del gen responsable de una enfermedad y el desarrollo de un tratamiento” (Wilkie, 1994: 91-92).

Fue en 1986 cuando el Departamento de Energía de Estados Unidos de Norteamérica (DOE) recibió una propuesta de su Oficina de Investigación Sanitaria y Ambiental (OHER), dirigida en aquel momento por Charles DeLisi, en la que se le proponía que aumentara su participación en las investigaciones genéticas basadas en la nueva biología molecular.¹⁴⁰ En marzo de ese mismo año el DOE organizó una importante reunión científica en Santa Fe, Nuevo México, en donde los participantes a la misma mostraron un gran entusiasmo por la secuenciación del genoma humano, y en donde el DOE aceptó tomar la iniciativa en este campo.

El hecho de que el DOE aceptara el liderazgo de la secuenciación del genoma humano no trajo consigo el consenso generalizado entre la comunidad científica. Lejos de ello, a los detractores (algunos de ellos biólogos moleculares muy eminentes) había ahora que unir otros científicos a los que no les gustaba en absoluto que fuera el DOE quien asumiera la dirección

¹⁴⁰ Aunque parezca extraño a primera vista que a un departamento de energía puedan interesarle las investigaciones genéticas, no lo es tanto si tenemos en cuenta que en buena parte del período de posguerra el DOE y sus predecesores se interesaron por la genética humana como consecuencia de la necesidad de entender los efectos de la radiación en los seres humanos y sus genes.

del proyecto.¹⁴¹ El tema se complicaba por la ambigüedad del Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos de Norteamérica (NIH) que seguía financiando proyectos concretos de secuenciación genética humana, pero no tomaba ninguna iniciativa de liderazgo del gran proyecto de secuenciación como, por otra parte, sí lo había hecho el DOE.

Lo que los científicos rechazaban de este “gran proyecto” no era su objetivo de mapeo y secuenciación del genoma humano (esto se admitía que representaría un gran avance para las ciencias de la vida), sino el camino a elegir para alcanzar dicha meta. Algunos científicos dudaban que el “gran proyecto” dada su magnitud y coste pudiera proporcionar los resultados que se esperaban, y proponían como alternativa financiar proyectos de menos envergadura que darían resultados a un coste menor, y además en menos tiempo. Otro de los temores que algunos científicos ponían sobre la mesa era que el “gran proyecto”, al tragarse los presupuestos de pequeños proyectos, desfinanciaría otras áreas de interés científico. Los científicos detractores del “gran proyecto” de secuenciación del genoma humano señalaban que la libertad de investigación quedaría dañada, pues las áreas de investigación dependerían de las directrices marcadas por la dirección del Proyecto Genoma Humano, que es el que tendría los fondos para investigar y, por tanto, decidir qué investigar y quién investiga. También señalaban estos detractores los grandes problemas de burocracia que la Administración de un proyecto tan grande conlleva, problemas que muchas veces llevan a no conseguir los objetivos que se persiguen.

Respecto al coste del proyecto de secuenciación del genoma humano, Walter Gilbert, inventor de uno de los métodos más utilizados para secuenciar ADN, estimó que el mismo se

¹⁴¹ A este respecto es significativo que fuera precisamente el Instituto Whitehead de Massachusetts (donde se había llevado a cabo gran parte del trabajo del mapeo del genoma) el lugar que se convirtiera en el foco de oposición al proyecto de secuenciación. Científicos de la talla e David Baltimore, ganador del premio Nobel y a la sazón director de Whitehead; David Bostein, también miembro de este Instituto (que en 1980 había sido uno de los coautores del artículo que sentó las bases para elaborar un mapa del genoma humano) mostraron su recelo al gran proyecto de secuenciación del genoma humano que estaba detrás de las propuestas del DOE.

elevaría para los 15 años de su duración a tres mil millones de dólares. El cálculo lo estableció Gilbert estableciendo un coste de secuenciación de un dólar por cada par de bases a secuenciar, ello implicaba que los tres mil millones de pares de bases del genoma humano se secuenciarían al precio indicado.

En agosto de 1986 el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos de Norteamérica¹⁴² convocó una reunión en Woods Hole, Massachussets, donde se nombró un comité para la elaboración de un estudio del Proyecto. Los resultados de dicho estudio: “invirtieron las prioridades del proyecto, resaltando los beneficios del atlas genético e insistiendo en la elaboración del mapa del genoma humano antes de empezar a descifrar la secuencia de pares de bases. Respalda los anteriores cálculos informales sobre el coste de la empresa, sugiriendo un presupuesto anual de 200 millones de dólares durante 15 años, e insistía en la importancia de estudiar los genomas de otros organismos, además del humano, para poder interpretar biológicamente los datos de este último” (Wilkie, 1994: 96-97).

En 1987 el propio Gobierno Federal de los Estados Unidos de Norteamérica decidía financiar investigación sobre el Genoma Humano a través del NIH, concediéndole en diciembre de ese año 17,2 millones de dólares. Ello no quería decir que el Gobierno Federal dejara de financiar el proyecto del DOE en esta área; prueba de ello lo constituye el que se le concedieran a este Organismo ese mismo año 12,2 millones de dólares para su propia investigación.

Dos informes publicados en 1988 (los del Consejo Nacional de Investigación y el de la Oficina de Supervisión de Tecnologías) sirvieron de base a las discusiones de la reunión convocada por el director del NIH, James Wyngaarden, y que dirigida por David Baltimore se celebró en Reston, Virginia. Para el éxito de dicha reunión fue decisivo el desplazamiento del

¹⁴² El Consejo Nacional de Investigación es el brazo ejecutor de las Academias Nacionales de Ciencia e Ingeniería en Estados Unidos y, por tanto, el portavoz de la comunidad científica y la Institución más legitimada en temas de ciencia y tecnología de ese país.

énfasis, propiciado por el trabajo del Consejo, de la secuenciación al mapa; y de la mera acumulación de datos al conocimiento biológico propiciado por el estudio de genomas de otras especies.

A principios de 1988 Wyngaarden invitó a James Watson a dirigir la investigación del genoma en el NIH, y el uno de octubre de ese año fue nombrado Director Asociado de la Investigación del Genoma Humano de los Institutos Nacionales de Salud¹⁴³. El presupuesto del NIH para el Proyecto Genoma Humano fue de 28,8 millones de dólares para el período 1988-1989, sin embargo, en octubre de 1989 ya alcanzaba los 60 millones de dólares, y en 1991 alrededor de los 108 millones de dólares¹⁴⁴. El 1 de octubre de 1988 el NIH y el DOE firmaron un memorándum de entendimiento; en éste ambas Agencias se comprometían a cooperar en la investigación del genoma humano.

En cuanto a los objetivos que se plantea el Proyecto Genoma Humano son: en primer lugar, completar un mapa genético con marcadores situados a intervalos de 2 a 5 *centimorgans*¹⁴⁵. Para ello, los científicos involucrados en el Proyecto calculan que serán necesarios de 600 a 1.500 marcadores diferentes. Para un mapado 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

¹⁴³ James Watson dimitió de este cargo en abril de 1992. Francis Collins, descubridor del gen de la Fibrosis Quística, fue su sustituto.

¹⁴⁴ Para el período 1988-1989 el presupuesto destinado por el DOE para la investigación del genoma humano era aproximadamente de unos diez millones de dólares menos que el indicado para el NIH; en octubre de 1989 la diferencia ya era de 42 millones de dólares; y en 1991 de 62 millones de dólares. Como vemos a partir de 1988 el NIH se pone a la cabeza del Proyecto sobre el Genoma Humano y el DOE pasa a un segundo lugar.

¹⁴⁵ Un *centimorgan* equivale aproximadamente a un millón de pares de bases.

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.¹⁴⁶ 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 sea cumplido medio siglo después de haber cartografiado la estructura del ADN, es la secuenciación completa del genoma humano.

Respecto a los problemas que suscitó en su inicio, y en parte sigue suscitando el Proyecto Genoma Humano, cabe destacar uno de índole técnico que afecta a lo que es propiamente la secuenciación. En efecto, las técnicas disponibles para llevarla a cabo cuando se inicio el Proyecto eran demasiado lentas y caras como para plantearse la secuenciación de los tres mil millones de pares de bases. No, por lo menos, sin hacer antes un avance sustantivo en dichas técnicas, y ello a fin de acelerar y abaratar los costes que tal proceso implica.

El informe surgido de la reunión conjunta entre el NIH y el DOE en el verano de 1989 en Cold Spring Harbor¹⁴⁷ era significativo al respecto, al señalar que el coste de secuenciación se situaba en aquel momento entre 2 y 5 dólares y que, por tanto, debía descartarse la secuenciación a gran escala del genoma humano hasta que el coste real de la misma descendiera a 50 centavos por cada par de bases. También advertía dicho informe que: “podría no bastar con desarrollar y perfeccionar los métodos existentes para secuenciar el ADN y, por consiguiente,

¹⁴⁶ 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.

¹⁴⁷ Este llevaba por título: “Conocer nuestra herencia genética. El proyecto Genoma Humano en EE UU: los primeros cinco años”.

habría que estimular la invención en métodos completamente nuevos para secuenciar el ADN.” (Wilkie, 1994: 100).

Un segundo problema deriva 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 que el Proyecto Genoma Humano tenga como consecuencias formas de eugenésia, formas que impliquen la estigmatización de individuos, y su discriminación a la hora de acceder a un puesto de trabajo o a un seguro¹⁴⁸; o que el conocimiento adquirido del genoma humano posibilite la fabricación de niños de diseño, monstruos o quimeras humanas. Otro de los factores que incide decisivamente en esta aceptación pública del Proyecto es el del tratamiento y soluciones que se den a las distintas problemáticas éticas que vayan surgiendo.

Otros problemas surgieron de la propia necesidad de internacionalización del Proyecto.¹⁴⁹ El primero de ellos fue el de la división del trabajo. Es decir, qué países se ocuparían de tal o cual región del mapa genético, o se harían cargo de secuenciar los genes situados en tal o cual cromosoma. Las diferencias entre elegir tal o cual región o cromosoma entero tenían consecuencias económicas muy importantes. Por esas fechas ya se habían localizado regiones donde un gen defectuoso producía enfermedades importantes. Por otro lado, hay regiones o cromosomas cuya longitud es mayor que otras, y cuyo desciframiento tiene por tanto un gran trabajo, y en las que además el beneficio esperado es pequeño.¹⁵⁰ Un segundo

¹⁴⁸ La cuestión radica en que el Proyecto Genoma Humano proporcionará conocimiento sobre enfermedades genéticas, conocimiento que permitirá diagnosticarlas antes de que las mismas se expresen en el individuo poseedor del gen defectuoso. Por otra parte, el problema del seguro se agrava en el caso de sistemas de salud privados, como en el caso de Estados Unidos de Norteamérica, donde una aseguradora podría negarse a contratar un seguro médico sobre la base de diagnósticos genéticos.

¹⁴⁹ La dimensión del Proyecto hacía necesario llegar a acuerdos internacionales sobre el mismo, para que países con capacidad científica y económica se comprometieran a formar parte de él, y le destinaran recursos financieros, técnicos y humanos.

¹⁵⁰ El cromosoma que más interesa secuenciar es el número veintiuno, el más pequeño de todos. En él se sitúan varias enfermedades debidas a genes defectuosos. Por ejemplo, uno de ellos aumenta la propensión

problema que surgió a la hora de establecer la participación de cada país en el Proyecto fue la publicidad de los datos obtenidos. Esta debería servir para el aprovechamiento conjunto de éstos por la comunidad científica internacional interesada. El problema derivaba del posible aprovechamiento de estos datos, y ello en vistas a obtener resultados prácticos que pudieran sujetarse al sistema de propiedad intelectual, vía patentes. Esto hacía que algunos países se mostraran reticentes de compartir sus datos con otros países, a menos que los mismos colaboraran en el Proyecto conforme a sus posibilidades científicas y económicas.¹⁵¹

A parte de los problemas citados en el párrafo anterior, tres casos concretos muestran la fragilidad de los acuerdos internacionales que tuvieron como base el Proyecto Genoma Humano. El primero de ellos surgió en 1991 a raíz de la guerra del Golfo, y hace referencia a la decisión del Departamento de Comercio norteamericano de impedir el acceso de los extranjeros a los programas de ordenador del “paquete Wisconsin”¹⁵². Los motivos argüidos por el Departamento de Comercio norteamericano hacían referencia a una posible utilización por partes interesadas de esos programas de ordenador en proyectos de guerra biológica. El segundo caso, que tenía lugar a mediados de ese mismo año, se refería al hecho de que el NIH pretendía patentar secuencias de ADN descubiertas por sus investigadores sin saber a qué genes correspondían dichas secuencias, y sin ni siquiera conocer la función de esos genes.¹⁵³ El problema surgido de esta pretensión era grave, pues de la solución del mismo dependía que

al Alzheimer. El cromosoma número uno es el que menos interés ha despertado para su secuenciación debido a que pocas, y minoritarias en sus afectados, son las enfermedades que se asocian a genes defectuosos que se encuentran en él. Además, es el cromosoma más grande y su secuenciación es la más cara.

¹⁵¹ Por ejemplo, James Watson propuso que se negara a los científicos japoneses los datos obtenidos por el Proyecto en Estados Unidos de Norteamérica, a menos que su gobierno financiara un programa nacional de investigación del genoma humano de tanta envergadura como el norteamericano.

¹⁵² El “paquete Wisconsin” es un conjunto de programas para el análisis informatizado del ADN, éste es muy utilizado por científicos europeos. Recordemos también que la Base de Datos Internacional del Genoma se encuentra en ordenadores de Baltimore.

¹⁵³ Las patentes solicitadas se referían a genes que se manifiestan en el cerebro. De haber logrado estas patentes, cosa que no consiguió, el NIH hubiera sido no sólo propietario de parte del genoma humano, sino incluso de parte del cerebro humano.

siguiera manteniéndose el libre flujo internacional de información científica, tan importante para el éxito del propio Proyecto. Ello derivaba del hecho de que la aceptación de las patentes de las secuencias solicitadas por el NIH implicaba automáticamente un cambio de las reglas del juego. Este cambio suponía que los otros Organismos involucrados en el Proyecto Genoma Humano actuaran de la misma forma que el NIH, lo cual implicaría en la práctica que la libre circulación de la información a través de las publicaciones científicas sería sustituida por un ocultamiento de los datos, por lo menos hasta que éstos estuvieran protegidos por patentes. Los gobiernos francés y británico protestaron ante la petición del NIH con diferentes argumentos. Mientras para el gobierno francés la cuestión se remitía a que los genes humanos 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. El tercer caso surgió a principios de 1992, y derivó del hecho de que una empresa privada de Seattle intentó contratar a dos científicos que trabajaban en Organismos Públicos de Investigación.¹⁵⁴ Estos dos científicos eran los máximos expertos en la secuenciación del *nematodo*, cuyo genoma es el mejor secuenciado hasta la fecha. Además, ambos con sus colaboradores habían desarrollado: nuevas técnicas de secuenciación, métodos para el análisis informático de los datos, y nuevos sistemas de organización del trabajo que eran muy útiles en la tarea de secuenciar el genoma humano. El problema surgía del hecho de que la contratación, por parte de una empresa privada, de los máximos expertos en secuenciación suponía el aprovechamiento de los conocimientos de éstos, conocimientos adquiridos con dinero público, a fin de obtener una posición monopolística cuando el Proyecto del Genoma Humano emprendiera la tarea de secuenciación a gran escala. Se hubiese podido dar la paradoja, de haber prosperado esta contratación, de que los gobiernos que habían financiado la adquisición de los conocimientos y habilidades necesarias para llevar a cabo la secuenciación del genoma hubiesen acabado pagando por las mismas a una empresa en posición monopolística.

¹⁵⁴ Se trataba de John Sulston que desarrollaba su actividad en Cambridge, y de Bob Waterston que lo hacía en la Universidad de Washington de Sant Louis.

Existían además 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 ó 4 por ciento del total¹⁵⁵. 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*, éste 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 mensaje¹⁵⁶, y que alrededor de éstos se encuentran un gran número de los llamados *pseudogenes*¹⁵⁷. La pregunta que surgió de estas dudas se puede formular de la siguiente forma: ¿de qué sirve gastar tanto dinero en la secuenciación de todo el genoma humano cuando sólo existe una pequeña proporción del mismo con sentido? Además, los que dudaban de la necesidad de secuenciar todo el genoma humano planteaban que el destinar los recursos que liberaría estudiar únicamente los genes con sentido a otras cuestiones permitiría avanzar con mayor rapidez en la cura de enfermedades originadas por defectos genéticos. Por otra parte, los partidarios del Proyecto Genoma Humano en su totalidad argüían que todavía no se tenía la certeza absoluta de que el *ADN espaciador*, los *intrones*, y los *pseudogenes* no tuvieran una función, que incluso podía ser importante, dentro del genoma humano. Que no se les hubiera encontrado una función no quería decir que no la tuvieran. Además, argüían que la secuenciación de todo el genoma humano nos permitiría conocer la evolución genética del hombre a lo largo de su evolución, lo cual no dejaba de ser algo muy importante desde el punto de vista del conocimiento de como está constituido el ser humano.

¹⁵⁵ Véase Jhon Nevell, op. cit., pp. 126-127.

¹⁵⁶ Estas secuencias de ADN que están en los genes, y que carecen de mensaje se denominan *intrones*. Algunos genes llegan a estar compuestos hasta en un 90 % de ellos. En la actualidad se desconoce para que 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.

¹⁵⁷ Los *pseudogenes* son 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 “sorpresa”s respecto a lo esperado, como 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 no deberse a él el 0,1% de la diferencia genética existente entre todas las personas.¹⁵⁸

6.2. 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 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 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.

¹⁵⁸ Estas “sorpresa”s las hemos extraído de Malen Ruiz Elvira: “Los artífices del genoma humano advierten que sus aplicaciones tardarán en llegar. Venter y collins buscan la secuenciación del ratón para entender el libro de la vida del hombre”, <http://www.elpais.es>, 19 de febrero de 2001.

Un caso especial de diagnóstico lo constituyen aquellos defectos genéticos que, careciendo 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 período corto de años conducen a la muerte; de aquellos 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”.

Ha llegado el momento de hacer una nueva distinción que nos permita avanzar un poco más en nuestro análisis. La misma se refiere al período en que se realiza el diagnóstico. Aquí podemos distinguir entre el que se efectúa en el embrión y el que se efectúa en una persona ya nacida. En el primero de ellos la aparición de un defecto genético que tenga como consecuencia una enfermedad genética plantea la decisión de abortar o no. La decisión tomada dependerá en gran medida de factores culturales y religiosos de los progenitores, y que son en gran medida los propios de la sociedad en que éstos viven. En el diagnóstico que se efectúa en personas ya nacidas existen varias consideraciones. La primera de ellas se refiere al derecho de decidir someterse o no a una prueba de diagnóstico genético, lo que se formula habitualmente como “derecho a saber” y “derecho a no saber”.¹⁵⁹ Es indudable que ambos principios son igualmente aceptables y que en términos teóricos una decisión individual razonada resolvería el problema. Sin embargo, existen situaciones en que el “derecho a no saber” se contrapone al “derecho a

¹⁵⁹ También se puede dar el caso de que alguien se someta a una prueba de diagnóstico y luego decida no saber el resultado del mismo; pero esto resulta incongruente, ya que si no se quiere saber la predisposición genética a una enfermedad lo mejor es no hacerse las pruebas de diagnóstico. No planteamos que el no saber vaya ligado siempre al no hacer, pero en el caso que nos ocupa el no hacer para no saber resulta más racional que el hacer para no saber.

saber” de otros individuos o Instituciones. Es el caso, por ejemplo, del derecho que se le debe dar a una mujer u hombre de conocer los defectos genéticos de su pareja, de las empresas de conocer los que tienen sus trabajadores o aspirantes a serlos, y de las aseguradoras de saber los de asegurados o futuros asegurados. La segunda consideración se refiere a la decisión de tener descendencia cuando se sabe que por lo menos un miembro de los futuros progenitores es portador de un gen defectuoso, y que por tanto puede transmitirlo a su descendencia. La decisión a tomar se plantea sobre la base de la aceptación por parte de los progenitores del riesgo de que el individuo que vaya a nacer herede el gen defectuoso de su progenitor.¹⁶⁰ La posibilidad de diagnosticar en el embrión el defecto genético favorece la toma de decisiones, ya que permite la posibilidad de abortar y volver a intentar una nueva fecundación en la que se asegure que el embrión no haya heredado el defecto genético. Por otro lado, la fecundación in vitro, con su posibilidad de seleccionar e implantar embriones, constituye una herramienta de indudable valor para que parejas, en las que uno u ambos miembros tengan uno o varios defectos genéticos que puedan ser heredados, tengan una descendencia sin estos defectos.

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 insertando 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 él¹⁶¹, y que únicamente se puede aplicar en una fase

¹⁶⁰ Más adelante desarrollaremos la noción de riesgo con mayor profundidad.

¹⁶¹ Con este método, 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.

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 solo 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 una 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)¹⁶². 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 hereditarios¹⁶³.

¹⁶² 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).

¹⁶³ 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, y 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.¹⁶⁴ 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

¹⁶⁴ En concreto, estos dos científicos realizaron un diagnóstico prenatal de la anemia falciforme con el método que apuntamos.

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 ADN¹⁶⁵, 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 mundo¹⁶⁶.

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

¹⁶⁵ Ello no quiere decir que ésta sea la única manera de diagnosticarlas. De hecho, algunas de ellas eran diagnosticadas a través de otros métodos mucho antes de la aparición de las nuevas técnicas de reconocimiento de los patrones de ADN que caracterizan estas enfermedades. Es el caso, por ejemplo, de la anemia falciforme, cuyos síntomas clínicos fueron identificados por primera vez por el doctor James Herrick en 1910. Él fue el primero en observar los glóbulos rojos en forma de hoz en un frotis de sangre de un estudiante antillano de color. En 1949 Linus Pauling y Harvey Itano, junto con sus colaboradores, identificaron que la causa de la deformación es una alteración de la estructura molecular de la hemoglobina. En 1956 Ingram demostró que la hemoglobina falciforme presenta un sólo aminoácido cambiado, en la sexta posición de la cadena β de la molécula, en el que hay *valina* en lugar de *ácido glutámico*. El que hasta fechas recientes no se estableciera un diagnóstico mediante el examen de ADN, o que hasta 1956 no se conocieran las causas exactas que producían la anemia falciforme, no implicaba que la misma no pudiera diagnosticarse a través de sus consecuencias características de glóbulos rojos en forma de hoz; ya observadas por otra parte en 1910 por James Herrick al microscopio en una muestra de sangre de un afectado por la enfermedad.

¹⁶⁶ En concreto, la anemia falciforme es la segunda enfermedad genética más extendida en el mundo, y afecta a uno de cada 50 ó 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 ó 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.

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 produzca¹⁶⁷.

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 qué 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.

6.3. Terapia génica

Lo primero que queremos señalar es que aquí nos ocuparemos tan sólo 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 aplique. La transferencia de genes a las células germinales, en el que éstos pueden ser transmitidos a la descendencia, es actualmente éticamente inaceptable por el riesgo eugenésico que conlleva¹⁶⁸, y en la actualidad no se contempla su desarrollo a corto o medio plazo.

¹⁶⁷ 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.

¹⁶⁸ En el capítulo quinto, concretamente en el debate sobre la ética, trataremos con más detalle y amplitud que se entiende por eugenésia. Bástenos de momento con indicar que este movimiento pretendía la mejora de la especie humana a través de: eliminar los defectos genéticos de las poblaciones humanas (“eugenésia negativa”); y favorecer y aprovechar al máximo las constituciones genéticas óptimas (“eugenésia positiva”).

Es pronto para establecer con mínimo un rigor cual será el alcance de la terapia génica en células somáticas en un futuro más o menos próximo. Ésta 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 está avanzando rápidamente en mejorar las técnicas, y se está aumentando el conocimiento sobre los genes humanos, sus relaciones con otros genes, con el organismo, y sus funciones.¹⁶⁹ También los ensayos clínicos que nos deben dar respuesta sobre la eficacia de estas terapias han aumentado en los últimos años de forma decisiva. Prueba de ello lo constituye que mientras en 1990 en Estados Unidos de Norteamérica se habían realizado dos ensayos clínicos¹⁷⁰; en este mismo país los realizados en 1994 ascendieron a unos cuarenta, y ello sin

¹⁶⁹ 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 celebre 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.

¹⁷⁰ Recordemos que los primeros experimentos de terapia génica que fueron aprobados lo fueron 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

contar que en ese mismo año se realizaron diez en Europa.¹⁷¹ Por lo que se refiere a España, en 2001 ya se habían realizado 3 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 introducía 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.

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, etc.), a la mucoviscidosis, al SIDA, a la hemofilia. En realidad un porcentaje muy elevado de los ensayos efectuados o planificados tiene que ver de una forma u otra con pacientes con cáncer. Respecto a esto, la terapia génica relacionada con el cáncer podría ser complementaria y muy útil de tratamientos tradicionales como la quimioterapia y la radioterapia. En este sentido, dos resultados positivos en la lucha contra el cáncer a través de la terapia génica fueron publicados por la revista científica Human Gene Therapy en noviembre de 1998. Los: “dos ensayos de terapia génica, uno contra el melanoma (un tipo de cáncer de piel) y otro contra el glioblastoma (un tumor cerebral) han producido resultados <<alentadores>> en pruebas clínicas con 20 pacientes humanos, según el equipo de investigadores franceses dirigidos por David Klotzman, del hospital Pitié Salpêtrière de París” (El País, 20 de noviembre de 1998).

inmunitario combinado severo, caracterizado por el déficit de una enzima, la *adenosindesaminasa* (ADA). Este déficit es mortal en un período corto de tiempo, si no se produce un trasplante de médula, puesto que induce a una acumulación de sustancias tóxicas en los linfocitos.

¹⁷¹ 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.

También 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).

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 éstas las que, en principio, se pueden tratar con un mayor éxito. Este hecho ha hecho que la terapia génica fuera, desde un punto de vista de asignación de fondos, menos atractiva que otras alternativas. Como ejemplo de ello podemos mencionar el caso de la *mucoviscidosis*, que siendo una de las enfermedades genéticas derivadas de la alteración de un gen que más afecta a las poblaciones caucasianas, afecta tan sólo de tres a cinco niños de cada diez mil. Otro ejemplo de lo que aquí decimos lo constituiría el déficit de *adenosindesaminasa* (ADA) que, siendo el objeto de los primeros ensayos de terapia génica en Estados Unidos de Norteamérica en 1990, tan sólo afecta a unos pocos cientos de pacientes en todo el mundo. El tamaño reducido de la población afectada por determinada enfermedad genética significa, en la práctica, que la esperanza de tratamiento es lejana; y ello porque los laboratorios no invierten en investigar en remedios para dolencias de baja incidencia, el provecho económico que sacarían de estas investigaciones no les resulta lo suficientemente atractivo.

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, etc.), y afecciones crónicas como la poliartritis reumatoide.¹⁷²

La terapia génica, frente a la vía tradicional farmacológica que trata a través del medicamento compensar las consecuencias fisiológicas del disfuncionamiento de las células, pretende corregir dicha disfunción y, por tanto, curar la enfermedad mediante la introducción en las células de un *transgen* que sustituya al gen anómalo.

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 utilizadas, 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*)¹⁷³, 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

¹⁷² 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 había conseguido caracterizar anomalías de una decena de genes. 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.

¹⁷³ Esta es una de las técnicas utilizadas, por ejemplo, por la compañía TransKaryotic Therapies de Cambridge, Massachusetts.

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 seguros¹⁷⁴ y eficaces¹⁷⁵. 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.

De los vectores señalados, como mejor conocidos y más utilizados dentro de los denominados virus modificados, los *retrovirus*: “tienen una notable característica: una vez en el interior de la célula infectada, <<copian>> su genoma, constituido por ARN, en forma de ADN; posteriormente, este último se integra en el genoma de la célula infectada. Como la multiplicación de los *retrovirus* no es, en general, mortal para la célula huésped, el genoma vírico se transmite de generación en generación de la misma manera que cualquier otro gen celular. Esta característica da lugar a una propiedad especial de los *retrovirus* (...) la de apropiarse de los genes celulares mediante intercambio de material genético (recombinación) y transportarlos de una célula a otra e incluso a otros organismos” (Mehtali, 1995: 22).

¹⁷⁴ 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.

¹⁷⁵ 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.

Pese a las ventajas evidentes que proporciona la propiedad especial de los *retrovirus*, y que señalábamos en el párrafo anterior, a la hora de transferir genes este tipo de vectores tiene algunas limitaciones en su eficacia terapéutica que es preciso señalar. Una de las más importantes es la insuficiencia del número de virus recombinantes producidos por cada una de las “células de complementación”. Otras limitaciones, en la utilización de los *retrovirus* como un vector para la transferencia de genes, son las dificultades en su manipulación y el elevado coste de producción de los mismos. Ambas limitaciones derivan del hecho de que para obtener un efecto terapéutico hay que modificar enormes cantidades de células (en realidad varios miles de millones), lo que puede lograrse utilizando vectores en cantidades de tres a cinco veces superiores a las células diana. Por otro lado, existe la limitación de que el genoma vírico es de un tamaño reducido, por lo cual solo permite transportar genes extraños al mismo virus de un tamaño que no excede los ocho mil nucleótidos. Esto excluye a genes de gran tamaño como, por ejemplo, la secuencia de ADN que codifica el factor VIII que se encarga de la coagulación humana, y cuya utilización como terapia para los hemofílicos presenta un gran interés. Además, los *retrovirus* infectan únicamente las células de división; lo que limita, al ser éstas en su mayor parte de división lenta, la utilización de aquellos a tipos celulares como los linfocitos de la sangre. Existe también la limitación de que los *retrovirus* son inactivados por las proteínas plasmáticas, lo que hace que su utilización suela estar restringida a tratamientos *ex vivo*. Por último, el empleo de *retrovirus* tiene el riesgo de inducir al desarrollo de un tumor, y ello por la introducción accidental del genoma del vector en alguna parte crítica del genoma de la célula huésped.

Todas estas limitaciones de los *retrovirus* han llevado a considerar otro tipo de vectores. Entre los considerados, y que forman parte también de la familia de los virus modificados, se encuentran los *adenovirus* humanos. Éstos permiten superar, en parte, algunas de las limitaciones que afectan a los *retrovirus*.

Los *adenovirus*¹⁷⁶: tienen un genoma formado por ADN, son poco patógenos, y son capaces de infectar una amplia gama de células sin importar que éstas estén en división, lo que permite modificar células de poca división como las musculares o las pulmonares.

Los *adenovirus* tienen la gran ventaja de que se multiplican con suma facilidad, por lo que producen en el mismo tiempo un mayor número de virus recombinantes que los *retrovirus*. Esto implica que obtienen una transformación genética de las células diana con un índice más elevado. Otra de las ventajas que poseen es el tamaño de su genoma (treinta y seis mil nucleótidos). Este tamaño permitirá, una vez alcanzadas las soluciones técnicas necesarias para ello, la introducción en este vector de un ADN extraño de hasta treinta mil nucleótidos. Ello soluciona en parte el problema que plantea la transferencia de genes de gran tamaño. Otra ventaja de los *adenovirus* es que, al no integrarse su genoma en el genoma celular, se minimizan los riesgos de activación de oncogenes.

La utilización de *adenovirus* como vectores tiene el inconveniente, en las células que se multiplican rápidamente, de que al no estar el gen que se inserta integrado en el genoma celular no se multiplica en la misma proporción que los genes de la célula. Esto provoca que el gen insertado se vaya diluyendo a medida que se producen las divisiones celulares. La causa principal de que el gen terapéutico tenga una expresión transitoria es la muerte de las células modificadas genéticamente.¹⁷⁷ Pero veamos a continuación, y de forma resumida, los riesgos que se presentan en la utilización de *retrovirus* y *adenovirus* como vectores en la transferencia de genes.

¹⁷⁶ Los *adenovirus* son los responsables de afecciones de índole benigna que afectan a las vías respiratorias superiores.

¹⁷⁷ Una de las razones de la muerte de estas células modificadas genéticamente está motivada por la reacción inmunitaria que provocan los numerosos genes víricos que aún contiene el vector.

CUADRO 2.4.
RIESGOS ASOCIADOS A LA TRASFERENCIA DE GENES QUE UTILIZAN COMO VECTORES A RETROVIRUS Y ADENOVIRUS

(a) suceso indeseable	vectores <i>adenovirus</i>	vectores <i>retrovirus</i>	posibles consecuencias naturaleza (b)	gravedad (c)	(d) Probabilidad de (a) y (b) simultáneamente (1)	riesgo (1) (c) x (d)
mutagenesis por inserción	-	+	cáncer	severa	despreciable	prácticamente nulo
complementación por un virus salvaje	+	-	diseminación del vector fuera del paciente	baja	baja	bajo
recombinación con un virus salvaje	+	-	partículas de vector autónomas con funciones no deseadas	despreciable	despreciable	prácticamente nulo
expresión residual de las proteínas del virus salvaje	+ (1 ^a generación)	-	inflamación	media	baja	medio/bajo en función de la dosis administrada

(1) Terminología y estimación del riesgo según el documento de la Comisión Europea. Directorio General de Industria III/5508/94 (draft 2), 1994.

FUENTE: Schatz y Lamy (1995: 29)

Otro grupo de virus modificados que se están desarrollando como vectores en la transferencia de genes son: los virus de hebra simple de ADN, *parvovirus* y virus del herpes humano (*Herpes simplex* de tipo 1). Respecto a este último su interés radica en su *neurotropismo*, es decir, en su capacidad de infectar a las células nerviosas; en el gran tamaño de su genoma vírico (153.000 nucleótidos); en su fácil manipulación en cultivo; y en su no integración en el genoma de la célula diana.

Todas las ventajas citadas en el párrafo anterior hacen del virus causante del herpes humano un buen candidato para la transferencia de genes en aquellas células de poca división celular, y de entre ellas más específicamente para las células nerviosas. Ello quiere decir que enfermedades como el Parkinson o el Alzheimer podrán ser tratadas, en un futuro más o menos próximo, con terapias génicas que utilicen estos vectores. Persiste, no obstante, en este virus los problemas de como atenuar suficientemente la toxicidad del virus recombinante para la célula diana, y de cómo obtener una producción estable de los genes terapéuticos en la célula diana.

Por último, dentro de los virus modificados que sirven como vectores de transferencia genética, los *parvovirus* y concretamente dentro de ellos el virus humano AAV (*Adeno-associated-virus*) presenta un gran interés dada su poca patogeneidad. Sin embargo, este virus presenta un inconveniente de entrada, y es el de que su genoma está incompleto y no puede multiplicarse sin la ayuda de un virus auxiliar. Este problema no es irresoluble y generalmente se resuelve utilizando un *adenovirus* o un virus *Herpes simplex* como auxiliar del virus humano AAV.

La mayor ventaja que poseen los virus humano AAV modificados es que los mismos en ausencia de un virus auxiliar se integran en una región muy precisa del cromosoma 19, lo que elimina los riesgos de que pueda activar un oncogen o destruir un gen importante. Sin embargo, esta característica no ha sido posible reproducirla cuando este virus es complementado por otros y se procede a su recombinación. Por otra parte, existe en este tipo de virus el inconveniente del tamaño máximo de ADN extraño que se puede introducir en ellos (4.500 nucleótidos).

En las técnicas de transferencia de genes que no utilizan virus modificados dos son las estrategias que se han venido siguiendo. La primera de ellas es la referida a la inoculación directa del ADN terapéutico en el tejido escogido (técnica del ADN <>desnudo>>). Esta técnica, cuyo éxito ha venido siendo limitado, se contempla sobre todo desde el punto de vista de la producción de vacunas. Hasta el momento el enfoque más prometedor que se ha vislumbrado para esta técnica es el que consiste en el bloqueo del funcionamiento de un gen cuyo producto sería nefasto para el organismo. La segunda estrategia adoptada es la que consiste en asociar al gen terapéutico estructuras sintéticas que sean capaces de transferirlo a las células diana.¹⁷⁸ Respecto a las técnicas utilizadas para la trasferencia de genes en la terapia génica, y que de forma muy resumida introducimos más arriba, los dos cuadros que

¹⁷⁸ Hasta el momento las estructuras sintéticas más utilizadas han sido los *liposomas*.

presentamos a continuación nos dan buena cuenta de donde se están desarrollando dichas técnicas, de quienes las están desarrollando y de cuales son sus objetivos.

**CUADRO 2.5.
DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA LA TRANSFERENCIA DE GENES EN SISTEMAS NO VÍRICOS**

SISTEMAS NO VÍRICOS	Métodos Físicos (<i>in vivo o ex vivo</i>) ¹⁷⁹	ADN <<desnudo>> (<i>in vivo</i>)	OBJETIVOS
GeneMedicine (Houston, Texas)-----			ECV, MET, END, EM, EG, C
TargeTech (Carlsbad, California)-----			EG (hipercolesterolemia, hemofilia), EI (hepatitis B)
Targeted Genetics (Seattle, Washington)-----			C, ECV, EG, EI
Therexsys (keele, Gran Bretaña)-----			C, EV (hemoglobinopatías) EI (SIDA), ELTransgène
(Estrasburgo)-----			C, EG, (mucoviscidosis, miopatía de Duchenne)
Vical Inc. (San Diego, California)-----		Vical Inc. (San Diego, California)-----	C, ECV, EG, (hemofilia, mucoviscidosis), EI, V
Agrocetus (Middleton, Wisconsin)-----			V
TransKaryotic Therapy Inc. (Cambridge, Massachusetts)-----			D, EG, (hemofilia, déficits de hormona del crecimiento y de eritropoyetina)

A: Artritis, C: Cáncer, D: Diabetes, DU: Producción de células de tipo <<dador universal>>, ECV: Enfermedades cardiovasculares, EG: Enfermedades genéticas, EH: Enfermedades hepáticas, EI: Enfermedades infecciosas, EL: Enfermedades Lisomiales, END: Enfermedades neurodegenerativas, EM: Enfermedades musculares, MET: Enfermedades metabólicas, R: Resistencia a la quimioterapia, V: Vacunas.

FUENTE: Dodet (1995: 16)

¹⁷⁹ Mientras que por “*ex vivo*” se entiende la estrategia que implica que la transferencia de genes se produce en el laboratorio sobre muestras celulares del paciente, por “*in vivo*” se entiende la estrategia que implica que la transferencia de genes se produce directamente por la Administración del vector al organismo. La terapia “*ex vivo*” implica el manejo de las células del enfermo y, por tanto, la preparación de un producto distinto para cada uno; en la terapia “*in vivo*”, en cambio, el producto administrado es idéntico para todos los pacientes que sufren la misma enfermedad, y por tanto una vez elaborado el mismo podrá venderse como cualquier otro medicamento.

CUADRO 2.6.
DESARROLLO DE TÉCNICAS PARA LA TRANSFERENCIA DE GENES EN SISTEMAS VÍRICOS

SISTEMAS VÍRICOS		OBJETIVOS
Vectores retrovíricos <i>(ex vivo)</i>	Vectores adenovíricos <i>(in vivo)</i>	Otros (Virus adeno-asociado AAV, virus del herpes) (ex vivo)
Cell Genesys (Foster City, California)		DU, EI (infecciones por citomegalovirus, SIDA)
Introgen (Rijswijk, Países Bajos)		C, R, EG, EI (SIDA)
Somatix Therapy Corp. (Alameda, California)		C, ECV, EG (ADA, mucoviscidosis, enf. De Gaucher, hematoglobinopatías) EI (SIDA), END
Targeted Genetics (Seattle, Washington)	Targeted Genetics	C, EG (mucoviscidosis, enf. de Gaucher), EI (sida, infec. ECV)
Viagene Inc. (San Diego, California)		C, EG, (hemofilia), EI (sida y otras enf. víricas)
Genetic Therapy Inc. (GTI) Gaithersburg, Maryland		C, EG, EI (sida), ECV EH (enf. hepáticas)
GenVec (Rockville, Maryland) Theragen Inc (Ann Harbour, Michigan)		A,C,ECV,EG, (mucoviscidosis, enf. de goucher), EL, END
Transgène (Estrasburgo)		C, EG (mucoviscidosis, miopatía de Duchenne), EI (sida)
Genzyme (Framingham Massachusetts)		-EG (mucoviscidosis)
	Applied Immune Sciences (Santa Clara, California), adquirida por Rhône-Poulenc-Rorer en 1993	C, EG (hemofilia), hemoglobinop. EI
	Avigen (Alameda California)	EG (hemoglobinaopatías), EI (hepat. B, sida), C

A: Artritis, C: Cancer, D: Diabetes, DU: Producción de células de tipo <>dador universal<>, ECV: Enfermedades cardiovasculares, EG: Enfermedades genéticas, EH: Enfermedades hepáticas, EI: Enfermedades infecciosas, EL: Enfermedades Lisomiales, END: Enfermedades neurodegenerativas, EM: Enfermedades musculares, MET: Enfermedades metabólicas, R: Resistencia a la quimioterapia, V: Vacunas.

FUENTE: Dodet (1995: 16)

Como se desprende de los cuadros que aportamos, 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. También se puede observar que los objetivos que se proponen atienden a un gran y variado número de enfermedades que afectan

a un gran número de personas. Entre 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.

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 pueda activar un oncogen.

7. 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 encima en la detección y medición de sustancias químicas. También veremos las destinadas a la producción de alimentos tanto para animales como a humanos. Ellas pueden dar a los alimentos, por ejemplo, nuevas propiedades proteínicas y abaratar los costes de producción de éstos.

7.1. 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 anticuerpos¹⁸⁰ o enzimas¹⁸¹ con el fin de hacerlos servir como biosensores.¹⁸² En efecto, hoy en día ya es

¹⁸⁰ El que un anticuerpo reaccione con fuerza ante un solo antígeno hace que éste se pueda utilizar en su detección, aunque el mismo se encuentre en cantidades muy bajas, con gran precisión.

¹⁸¹ 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 minúsculas.

¹⁸² 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.

possible 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 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 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 aquellos. 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 aquélla no fue posible aprovechar las posibilidades de anticuerpos y enzimas. Ello fue 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 anticuerpo 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 tendrán un gran desarrollo en el campo del diagnóstico de algunas de las enfermedades infecciosas más importantes, pues 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 están 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.

Con todo, los biosensores tan sólo están en su inicio y es posible que las aplicaciones que de ellos se deriven lleguen a formar parte de nuestra vida cotidiana en un futuro no muy

lejano. Para que esto llegue a suceder es necesario un paso previo, el de la conexión de la “no vida” con la “vida”. No vamos aquí a entrar en discusiones de índole ética sobre la admisibilidad de esta conexión. Lo que nos interesa señalar en este momento es que para que los biosensores alcancen gran incidencia entre los objetos de nuestra sociedad, cuyo futuro tecnológico ya empezamos a vislumbrar en algunos aspectos, es necesario que los anticuerpos y las enzimas se pongan a trabajar conjuntamente con electrodos y pastillas de silicio. Esto permitirá traducir las reacciones químicas anticuerpos-antígenos y enzimas-sustratos en señales electrónicas de alarma. Es pues necesaria una conexión precisa entre la microelectrónica y la informática con los biosensores si se quiere aprovechar al máximo la capacidad de estos últimos.

Lo que decíamos en el párrafo anterior tiene además la consecuencia indirecta de que es necesario, a fin de lograr el objetivo planteado, un trabajo interdisciplinar entre bioquímicos y electroquímicos. Este trabajo interdisciplinar ya iniciado no fue nada fácil en sus comienzos. Respecto a esto es significativo el siguiente comentario: “Como lo expresó uno de los pioneros del diseño de biosensores, el profesor John Albery del Imperial College de Londres, cuando se hicieron los primeros intentos de obtener una corriente eléctrica a partir de la reacción antígeno-anticuerpo o enzima-sustrato, los bioquímicos se quejaban de que los electrodos utilizados por los electroquímicos destruían sus espléndidas moléculas biológicas. La molécula biológica iba a destruirse en el electrodo. El electroquímico decía al bioquímico: <<Tu horrible molécula de proteína ha envenenado mi electrodo de alta tecnología>>. A lo que respondía el bioquímico: <<Tu horrendo electrodo ha destrozado mi maravillosa molécula biológica>>“ (Newell, 1990: 136).

Pese a estas incomprendiciones iniciales el trabajo interdisciplinar entre bioquímicos y electroquímicos acabó rindiendo su fruto. Prueba de ello es que en la actualidad ya es posible captar pequeñas e indicadoras corrientes eléctricas provenientes de los biosensores que pueden

ser aprovechadas en la medición de azúcar en sangre de los diabéticos, y en la medición de urea en enfermos de riñón que usan riñones artificiales mecánicos. Esta primera generación de biosensores utiliza enzimas; cabe esperar que, dada su mayor sensibilidad, las siguientes generaciones utilizarán anticuerpos.

7.2. 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 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. Veamos a continuación cuáles son los campos de aplicación biotecnológica más importantes para la industria alimenticia.

CUADRO 2.7.
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)¹⁸³

Dentro de lo que es 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, etc.), 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

¹⁸³ 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.

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 2.8.
MEJORAS DE ENZIMAS POR INGENIERÍA GENÉTICA**

ENZIMA	APLICACIÓN	MEJORA
Alfa-amilasa	Licuación 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	Desamargurización 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)¹⁸⁴

Ya vimos en su momento, al hablar de la utilización de los microorganismos, la importancia de la manipulación genética de las cepas microbianas, a fin de obtener aditivos y nuevos ingredientes de origen biológico que vayan sustituyendo los de origen químico. Recordemos al respecto, por ejemplo, que componentes químicos como el *cyclamato* y *ciclohexilamina* (de amplia utilización en edulcorantes), el *ácido etilen-diameno-tetracético* (utilizado en la conservación de alimentos que contienen grasas y aceites tales como mayonesa, margarina, ensalada, etc.) producen anomalías cromosómicas, y que componentes como el *isotiocinato de alilo* (que se usa como aditivo en salsas picantes, aromáticas, motazas sintéticas, etc.), y los *nitritos* y *ácido nitroso* (utilizado para conservar carne, pescado y queso) son mutagénicos.¹⁸⁵

¹⁸⁴ Véase al respecto S. Neidleman: "Enzymology and food processing", en S. Harlander y T. Labuza, *Biotechnology in Food processing*, Ed. Noyes publications, Park Ridge, New York, 1988.

¹⁸⁵ 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 Juan Ramón Lacadena: *Genética y condición humana*, Ed. Alhambra, Madrid, 1983, pp. 65-68.

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 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*. En el siguiente cuadro mostramos algunas de las sondas de ADN que se están desarrollando.

**CUADRO 2.9.
SONDAS DE ADN EN DESARROLLO**

ORGANISMO DE INTERÉS	BASES DE DETECCIÓN
<i>Campylobacter sp.</i>	Especificidad del género
<i>Clostridium botulinum</i>	Neurotoxinas A, B y E
<i>Escherichia Coli</i>	Enterotoxinas
<i>Listeria monocytogenes</i>	Hemolisina
<i>Salmonella sp.</i>	Especificidad del género
<i>Staphilococcus aureus</i>	Enterotoxinas A B y C
<i>Vibrio cholera</i>	Enterotoxina, Hemolisina
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Hemolisina termoestable
<i>Yersinia enterocolítica</i>	Invasividad

FUENTE: Domínguez (1994: 182)¹⁸⁶

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 ejemplos de gran interés que a continuación citaremos brevemente.

¹⁸⁶ Extraído de S. Harlander: "Food biotechnology: yesterday, today and tomorrow", *Food Technology*, vol. 83, nº 9, 1989, p. 196.

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 *dacetilo*, 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 como 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. Este uso de las nuevas biotecnologías en los aromas alimenticios tiene ventajas e inconvenientes que deben estudiarse detalladamente. A continuación indicaremos algunas de estas ventajas e inconvenientes que menciona José María Bueno:

“VENTAJAS:

- 1.- Posibilidad de acceder a moléculas ópticamente activas, con mejor olor que sus correspondientes análogos *racémicos* fabricados por síntesis química,
- 2.- Posibilidad de realizar en una sola etapa las síntesis que normalmente necesitan varios pasos,
- 3.- La síntesis biotecnológica no plantea los peligros de seguridad física que tiene la síntesis orgánica clásica,
- 4.- Consecución de productos que legalmente podemos clasificarlos como naturales,
- 5.- Los productos que se consiguen son mucho más regulares en calidad que el aislado de productos naturales, debido a que no dependen de las variaciones del tiempo,
- 6.- No se plantean problemas de deforestación o de agresión a la naturaleza,
- 7.- Las materias primas utilizadas suelen ser económicas,
- 8.- Se requiere un bajo gasto de energía, porque la mayor parte de las reacciones transcurren a temperaturas próximas a la temperatura ambiente,
- 9.- Los productos de Biotecnología suelen ser más económicos que los aislados de fuentes naturales.

DESVENTAJAS:

- 1.- Pueden plantearse problemas legales en el uso de algunos microorganismos,
- 2.- Se trabaja en grandes volúmenes y muy bajas diluciones, lo que supone tener que concentrar, con el consiguiente gasto de energía,
- 3.- Es importante trabajar en condiciones de esterilidad,
- 4.- Suele emplearse una gran cantidad de energía en la esterilización de las masas de reacción y en las agitaciones de los grandes tanques,
- 5.- Debe realizarse un muy buen control analítico sofisticado para detectar la posible formación de toxinas,
- 6.- Los productos de Biotecnología son actualmente más caros que los sintetizados por la vía clásica” (Bueno, 1994: 201-202).

Nosotros añadiríamos una séptima desventaja, que no es otra que las dificultades que encuentran los alimentos transgénicos a la hora de lograr su aceptación por parte del consumidor. En este sentido, las empresas transnacionales retiraron en marzo de 2001 los alimentos transgénicos del mercado español, ya que los consumidores de nuestro país los rechazaban.¹⁸⁷

¹⁸⁷ Véase al respecto Joaquina Prades: “Las multinacionales retiran los alimentos transgénicos de España”, <http://www.elpais.es>, 26 de marzo de 2001.

CAPÍTULO TERCERO

SISTEMA PÚBLICO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN ESPAÑA

1. Introducción

En el presente capítulo daremos un repaso al Sistema español de Ciencia y Tecnología en 1999¹⁸⁸, aunque en muchas ocasiones el mismo lo veremos en una dimensión temporal mayor que nos permitirá conocer mejor su evolución, y también lo compararemos con lo ocurrido con otros países y áreas geográficas, esto nos indicara su importancia. Para ello hemos creído oportuno describir las principales características del Sistema Público de Investigación y Desarrollo español. En este sentido, atenderemos a sus antecedentes históricos, marco legal, marco institucional y se hará hincapié en el Plan Nacional de I+D, verdadero motor de todo el sistema. En esta sección también introduciremos los principales indicadores del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Industria: porcentaje del gasto español en I+D sobre el PIB a precios de mercado, gasto en I+D por habitante, origen de los fondos, recursos humanos dedicados a la I+D (indicadores Input), resultados obtenidos en producción científica medido en número de citas y patentes (indicadores Output).¹⁸⁹ Además realizaremos una comparación entre estos indicadores españoles con los producidos en otros países o zonas geopolíticas o económicas como la OCDE, o la UE. Por último, atenderemos a la distribución geográfica del Sistema por Comunidades Autónomas.

¹⁸⁸ Este es el último año en el que estuvo en vigor el III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, y también el último año para el que existía, en el momento de escribir este capítulo, una Memoria publicada del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, Memoria que no olvidemos que fue publicada en 2001.

¹⁸⁹ Sobre la división, ya tradicional, entre indicadores *input* (que señalan la capacidad de un país de imitar y asimilar innovaciones desarrolladas en otros países a través de la base científica de que dispone) e indicadores *output* (referidos más a procesos activos de innovación e invención) véase L.L.G. Soete: “A general test of technological gap trade theory”, en *Weltwirtschaftliches archiv*, Vol. 117, Nº 4, 1981, pp. 638-660. Citado por Luis Sanz Menéndez y Clara E. García: “La ciencia y la tecnología en el desarrollo regional”, documento de trabajo 92-10, Instituto de Estudios Sociales Avanzados, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1992, p.5.

La razón de introducir esta temática en nuestra tesis es que el describir nuestro Sistema público de Ciencia y Tecnología, y además ver su evolución temporal y su comparación con lo que ocurre en nuestro entorno, nos va a permitir (eso sí junto al capítulo cuarto que dedicamos a lo que ocurre dentro de él, y dentro del Sistema privado, respecto a la biotecnología) conocer mejor las verdaderas posibilidades que tiene España de estar dentro de los países que lideran estas nuevas tecnologías de la vida; cuestión esta importante si no se quiere que seamos un país dependiente de los avances tecnológicos que otros países realizan en esta área de conocimiento y actividad tan fundamental en la llamada “nueva economía”, economía basada principalmente en los *inputs* tecnológicos de última generación. El ser dependientes de estas tecnologías, y las de la vida son parte importante de las mismas, afectaría muy negativamente al desarrollo económico español.

2. Antecedentes históricos del actual Sistema Público de Investigación y Desarrollo español

El acercarnos a los antecedentes históricos del Sistema Público de Investigación y Desarrollo (a partir de ahora Sistema Público de I+D) español nos permite conocer mejor cuales fueron las ideas que guiaron sus orígenes, los desarrollos y cambios que siguieron a estos orígenes, y en que medida se ha alcanzado el objetivo de promover la Investigación y Desarrollo en nuestro país a lo largo del tiempo.

El origen inmediato del actual Sistema Público de I+D español puede datarse en 1907, año en que se crea la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Esta creación supone la plasmación institucional del tipo de pensamiento que valora la ciencia y los avances tecnológicos como algo valioso socialmente que debe promoverse desde las Administraciones Públicas.

De la creencia en la ciencia y las tecnologías como algo valioso para la creación de riqueza encontramos múltiples ejemplos en autores españoles de finales del siglo XVIII. En este sentido, Jovellanos nos dice: “ciencias útiles que contienen las preciosas verdades en que está cifrada la prosperidad de los pueblos y la perfección de la especie humana”¹⁹⁰ y Sarmiento: “Son éstas las más útiles provechosas y divertidas”¹⁹¹.

En las ideas de estos autores, compartidas por otros contemporáneos suyos de gran talla intelectual como Feijoo, Cadalso y Campomanes, por citar unos pocos ejemplos, encontramos un primer germe de apoyo a la ciencia y la tecnología como herramientas necesarias para el progreso del país. Con todo, es en el siglo XIX donde se sitúan algunas claves que nos permiten entender el actual Sistema Público de Investigación y Desarrollo español; y ello no tanto como forma institucionalizada completa que obedece a una voluntad política reguladora de estas actividades, sino más bien como políticas públicas que desembocan en la promoción de actividades, regulaciones, e institucionalizaciones parciales de algunas áreas científicas y tecnológicas.

El siglo XIX se nos presenta a simple vista como el nacimiento de escuelas en torno a voluntades personales científicas y políticas. De esta forma nos encontramos que rodeando a figuras como Fernández de Castro surgen científicos de talla internacional en la geología de la época como: Lucas Mallada, Luis Mariano Vidal y Jaime Almera. No fue suficiente, sin embargo, el voluntarismo de personalidades científicas para que surgiera en España una escuela geológica cuyos miembros se equipararon a sus colegas más prominentes de otros países punteros en esta área de conocimiento. Para ello, hizo falta la voluntad política expresa de que

¹⁹⁰ En Gaspar Melchor de Jovellanos: *Memoria sobre la educación pública y oración... sobre el estudio de las ciencias naturales*, Obras, II, p. 590, y IV, p. 169. Citado por Luis Sánchez Agesta: “Introducción al pensamiento español”, *Arbor*, N° 60, Vol. XVII, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, Diciembre de 1950, p. 365.

¹⁹¹ En José Sarmiento: *Seminario erudito. Discurso sobre el método que debía guardarse en la primera educación*, Vol. XIX, p. 256. Citado por Luis Sánchez Agesta: “Introducción al pensamiento español”, *Arbor*, vol. XVII, nº 60, diciembre de 1950, p. 365.

esto fuera así. En el caso de la geología lo vemos claramente atendiendo a la siguiente cronología:

En 1777 se funda el Almacén de la Escuela de Minería, en 1823 la Dirección General de minas, en 1835 se construye en Madrid la Escuela de Ingenieros de Minas, en 1850 se constituye definitivamente la Comisión encargada del mapa geológico.

Un dato significativo de la voluntad política de desarrollar esta área de conocimiento lo constituye, sin duda, la iniciativa de Elhuyar de pensionar estudiantes españoles en la escuela de minería de Freiberg, iniciativa que es un antecedente claro de la actual política de Formación de Personal Investigador en el extranjero.

En definitiva, el florecimiento de la geología española del siglo XIX obedeció a la articulación de intereses políticos y científicos que se retroalimentaron mutuamente. Los resultados de tal articulación fueron muy positivos para la sociedad española, ya que se formaron científicos y técnicos en la explotación geológica que detallaron con precisión el mapa geológico del país. De esta forma las Administraciones Pùblicas tuvieron personal autóctono preparado y dispuesto para crear riqueza a través de la extracción y posterior explotación de los minerales del país.

Un caso muy distinto lo constituye la escuela biológica española. Al respecto, en 1894 escribía Don Santiago Ramón y Cajal en su libro recuerdos de mi vida: “Qué desencanto al llegar a nuestro Madrid, donde, por incomprendible contraste se ofrecen la máxima cultura española en los peores edificios docentes. Habituada la retina a la imagen de tantos esplendores y grandezas, infundíame tristeza pensar en nuestra ruin y antiartística Universidad, en el vetusto y antihigiénico Colegio de San Carlos, en las lobregueces peligrosas del Hospital Clínico, en el

liliputiense jardín botánico del paseo Trajineros y en el museo de historia natural siempre errante y fugitivo ante el desahucio de la Administración”¹⁹².

Los ejemplos señalados nos sitúan ante algunas características esenciales que han persistido, más o menos inalterables, en las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad de nuestro país. En primer lugar, el desarrollo de áreas científicas y tecnológicas concretas a niveles de competencia internacional (que incluso permitieron adoptar iniciativas, en apariencia tan actuales, como las de becar estudiantes en el extranjero) halla su contrapunto en el retraso de otras áreas científicas y tecnológicas muy importantes para el desarrollo de España¹⁹³. En segundo lugar, nos encontramos ante la constatación de que tales desarrollos obedecieron más a voluntades personales, tanto científicas como políticas, que a un diseño racional y claro de los desarrollos científicos y tecnológicos más adecuados para el país y sus habitantes. En tercer lugar, la pobre infraestructura y equipamiento con la que tenían que trabajar en importantes áreas de conocimiento nuestros científicos. Por último, el retraso histórico de la ciencia y tecnología española, salvo escasas excepciones como la apuntada, frente a países que apostaron claramente por el desarrollo de éstas. Este retraso se debió, a nuestro entender, a dos factores: la entrada tardía de España en la revolución industrial y la falta de impulso político.¹⁹⁴

Fue en 1907 cuando se produjo el primer intento serio de crear un marco institucional apropiado para la ciencia española. En esa fecha, como señalamos más arriba, se crea la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, verdadero motor de la ciencia española en el primer tercio del presente siglo. En fecha más reciente (1931), coincidiendo con

¹⁹² Citado por José María Albareda: “La aptitud investigadora”, *Arbor*, N° 60, Vol. XVII, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, diciembre de 1950, p. 353.

¹⁹³ Los ejemplos citados son significativos del buen estado de la geología española de finales del siglo XVIII, buen estado que se prolongó durante el siglo XIX; y a través de las palabras del insigne doctor Don Santiago Ramón y Cajal del estado semiruinoso de la biología española de finales del siglo XIX.

¹⁹⁴ No entraremos aquí a desarrollar el análisis de estos dos factores; pues el hacerlo nos llevaría más allá de los objetivos de esta breve introducción histórica.

la etapa más progresista de la II república española, se crea la Fundación para la Investigación Científica y Ensayos de Reforma, Fundación que no llegó a dar los frutos que prometía dada su efímera existencia. La guerra civil española y sus consecuencias de miseria y exilio de muchos de los más prominentes científicos españoles acabaron con aquellas ilusiones de desarrollo científico y tecnológico.

En 1939 con los restos de la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas y los de la Fundación para la Investigación Científica y Ensayos de Reforma se crea el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Consejo que en sus primeros 20 años de existencia mostraba el rostro atrasado y oscurantista que muestran las siguientes palabras de su presidente: “Queremos una ciencia católica, esto es, una ciencia que por sometida a la razón suprema del universo, por armonizada a la razón suprema del universo, por armonizada con la fe “en la luz verdadera que ilumina a todo hombre que viene a este mundo” (Ioan I, 9), alcance su más pura nota universal. Liquidamos, por tanto, en esta hora todas las herejías científicas que secaron y agostaron los cauces de nuestra genialidad nacional y nos sumieron en la atonía y en la decadencia”¹⁹⁵.

La situación oscurantista que muestra la cita hecha en el párrafo anterior duraría hasta finales de la década de 1950, y su fin se debió a presiones exteriores y no como cabría esperar a un impulso renovador interno. Así en 1958 se crea la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT) que, dependiente en sus inicios de presidencia, vino a sustituir al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en sus funciones de Organismo coordinador de la ciencia española. En 1963 se crea, debido a la insistencia de la Organización

¹⁹⁵ Fragmento de un discurso de Ibáñez Martín, ministro de educación y presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en 1940. En: *Memoria del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, Madrid, 1940, pp. 29-53. Citado por María Jesús Santesmases y Emilio Muñoz “Los primeros años del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, una introducción a la política científica del régimen franquista”, Documento de trabajo 93-4, Instituto de Estudios Sociales Avanzados, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, abril de 1993.

para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la Comisión Delegada del Gobierno en Política Científica integrada por los Ministerios de Hacienda, Gobernación, Obras Públicas, Agricultura, Industria, Comercio y Educación y Ciencia. En 1978 se crea el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), inicialmente dependiente del Ministerio de Industria y Energía, y que en la actualidad es un Organismo autónomo, con el fin específico de promover el desarrollo tecnológico en la industria. Con todo, no es hasta la década de 1980, coincidiendo con la primera etapa de gobierno socialista en España, cuando se articula un modelo completo de Investigación y Desarrollo para este país.

3. El marco legal del actual Sistema Público de Ciencia-Tecnología-Empresa

La Ley más importante en España para el establecimiento del modelo de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) vigente se promulgó el 14 de abril de 1986 bajo el nombre de Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica (conocida comúnmente como “Ley de la ciencia”). En ella se funda el marco normativo actual de la Investigación y Desarrollo (I+D) española; marco que define y promulga los cauces de ejecución de la política científica y tecnológica españolas. Por ejemplo, es en esta Ley donde se establece por primera vez, a imitación de los Programas Marco de las Comunidades Europeas, el Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. Este Plan constituye el instrumento básico de fomento, coordinación y planificación de la investigación científica y técnica. También en esta Ley se crea la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), con su Comisión Permanente¹⁹⁶; Organismo encargado de la elaboración y seguimiento del Plan Nacional de I+D+I, y al cual se le encomienda la coordinación de todo el Sistema, tanto en el ámbito nacional como en el internacional. En esta Ley tienen su origen: el Consejo General de la Ciencia y la Tecnología y el Consejo Asesor de la Ciencia y la

¹⁹⁶ En la actualidad la CICYT se regula por el Real Decreto 1786/2000, de 27 de octubre, y la composición y funcionamiento de su Comisión Permanente fue acordada por el Pleno de la CICYT que tuvo lugar el 4 de octubre de 2000.

Tecnología, ambos funcionan como Órganos consultivos. La “Ley de la ciencia” contempla la situación jurídica de diversos Organismos Públicos de Investigación (en concreto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, del Instituto Geológico y Minero de España, del Instituto Nacional de técnica Aeroespacial y del Instituto Español de Oceanografía), y sirve como marco de referencia para el desarrollo coordinado de todas las actividades de I+D+I públicas españolas, ya sean éstas llevadas a cabo por los diferentes Ministerios con competencias en investigación, o por los Organismos responsables de la política científica en las Comunidades Autónomas. Otro aspecto a destacar de esta Ley es que se permite a los Organismos Públicos de Investigación (OPI), previa autorización del gobierno, la creación o participación en el capital de empresas que tengan por objetivo realizar actividades de investigación científica o desarrollos tecnológicos, y la prestación de servicios técnicos con tales fines. También es de destacar el mandato expreso que esta Ley hace para que las Administraciones Públicas fomenten la movilidad de los investigadores.

La Ley de patentes de 1986 y la Ley de Propiedad Intelectual de 1987 constituyen dos herramientas esenciales en el marco legislativo español de Ciencia-Tecnología-Empresa. En ellas se establecen, sobre la base de regulación, los criterios que una invención debe contener para que pueda ser protegida, y se establecen las ventajas que tal protección supone.

Otra Ley importante en el marco legal del Sistema español de I+D+I es la que contiene el Real Decreto 557/2000 de 27 de abril. En ella se crea el Ministerio de Ciencia y Tecnología, cuya estructura orgánica se desarrolla en el Real Decreto 1451/2000 de 28 de julio. A este Ministerio se le conceden las competencias en materia de ciencia y tecnología. Lo que supone que se le encarga de la gestión, coordinación, seguimiento y evaluación de la política científica y tecnológica españolas, política que se establece, en buena medida, aunque no

sólo¹⁹⁷, en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación¹⁹⁸.

Este Ministerio también contribuye a la elevación de la competitividad de las empresas y de su carácter innovador; y ello a través de un mejor aprovechamiento de los resultados de la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

El marco legal del Sistema español de I+D+I tiene otra de sus leyes importantes en la Ley Orgánica de Universidades, de 26 de diciembre de 2001, (Ley 121/2001)¹⁹⁹. En ella se establece (en su título VII, artículos 39 al 41) que la investigación, tanto básica como aplicada, es una de las funciones de la Universidad (se la llega a calificar como fundamento de la docencia y medio para el progreso de la comunidad); y es un derecho y deber del profesorado universitario. Especialmente interesantes resultan el artículo 41.1 y el 41.2. g) donde se dice textualmente: “La Universidad desarrollará una investigación de excelencia con los objetivos de contribuir al avance del conocimiento, la innovación y la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos y competitividad de las empresas (...) La vinculación entre la investigación universitaria y el sistema productivo, como vía para articular la transferencia de los conocimientos generados y la presencia de la Universidad en el proceso de innovación del sistema productivo de las empresas. Dicha vinculación podrá, en su caso, llevarse a cabo a través de la creación de empresas de base tecnológica a partir de la actividad universitaria, en

¹⁹⁷ Recordemos que dentro de esta política científica también se incluyen, entre otras: la cooperación y coordinación con los Programas de Investigación, Desarrollo en Innovación de otros Ministerios, de las Comunidades Autónomas, y de los Organismos Públicos de Investigación; el desarrollo y potenciación de grandes instalaciones científico-tecnológicas; la creación de mecanismos que favorezcan la transferencia de resultados científicos y tecnológicos a las empresas; el desarrollo de estrategias e iniciativas internacionales en ciencia y tecnología; el coordinar la participación española en organismos y programas internacionales de investigación científica y tecnológica.

¹⁹⁸ Es concretamente en su Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnológica donde radica la responsabilidad de conseguir que los objetivos del Plan Nacional señalados se cumplan.

¹⁹⁹ Esta Ley deroga la Ley Orgánica 11/1983 de 25 de agosto de Reforma Universitaria (LRU). Es en esta Ley donde se reconoció, por primera vez, y de forma explícita, la importancia de la investigación en la Universidad para el desarrollo cultural, social y económico del país. De ella resultaban de especial interés los artículos 11 y 45 que establecían las formas de colaboración, a través de proyectos de Investigación y Desarrollo, entre grupos de investigación situados en las Universidades y las empresas. Establecimiento especialmente importante, pues flexibilizó la rigidez que el marco legal previo imponía a las relaciones entre el mundo científico universitario y la esfera productiva del país.

cuyas actividades podrá participar el personal docente e investigador de las Universidades”²⁰⁰ (Boletín Oficial de las Cortes Generales, 26/XII/2001: 476-477). Otro aspecto importante de esta Ley, y que tiene incidencia en el tema que aquí tratamos, es el que se establece en su artículo 10. En éste se define la figura de Institutos Universitarios de Investigación como los dedicados a la investigación científica técnica o a la creación artística. Pero lo que realmente destaca en este artículo es su apartado 4º, en él se establece que: “Mediante convenio podrán adscribirse a Universidades Públicas, como Institutos Universitarios de Investigación, Instituciones o centros de investigación de carácter público o privado” (Boletín Oficial de las Cortes Generales, 26/XII/2001: 470). Esto es importante, pues permite que estén dentro de las Universidades, y que sean consideradas como Institutos Universitarios de Investigación, Instituciones públicas o privadas ajenas a la misma²⁰¹.

4. El marco institucional del actual Sistema Público de Ciencia-Tecnología-Empresa

En la apartado anterior dedicado al marco legal adelantamos algunos detalles de tipo general en torno al marco institucional del Sistema de I+D+I español. En este apartado ampliaremos lo ya dicho, centrándonos sobre todo en los Organismos que conforman este marco y las funciones que les son propias.

El primer Organismo que destacamos es la Comisión Interministerial de la Ciencia y la Tecnología (CICYT). Este Organismo, que está adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología,

²⁰⁰ Como vemos esta nueva Ley Orgánica de Universidades no sólo sigue el camino trazado por la anterior en cuanto a la colaboración de las Universidades y las empresas, sino que permite además que dicha vinculación pueda establecerse sobre la base de la creación de empresas de base tecnológica. Es decir, y conforme el artículo 83 de la Ley que estamos comentando, el personal investigador, o en su caso los grupos de investigación, reconocidos por las Universidades podrá celebrar contratos con las empresas para la realización de trabajos científicos o técnicos.

²⁰¹ No es difícil prever que la competencia por los recursos, así como la captación de los mejores profesionales, entre estos Institutos y los grupos de investigación propios de la Universidad van a ser enormes.

es el responsable de planificar, elaborar, coordinar, evaluar y seguir el Plan Nacional de I+D+I. Además: elabora las directrices generales de la política científica española, define cuales son los mecanismos más adecuados para su desarrollo, establece los criterios que se siguen para la valoración, selección y control de la Investigación Científica y Técnica, coordina la participación española en los Comités y Organismos encargados de los Programas de Investigación Europeos, y colabora con otros Organismos encargados de las acciones de política exterior en materia de cooperación científica y técnica. En cuanto a su composición decir, que es el Real Decreto 1786/2000, de 27 de octubre, el que determina su composición. Ésta composición es la siguiente:

Presidente: El presidente del Gobierno.

Vicepresidente: La Ministra de Ciencia y Tecnología.

Vocales:

El Ministro de Asuntos Exteriores.

El Ministro de Hacienda.

La Ministra de Educación, Cultura y Deporte.

El Secretario de Estado de Defensa.

El Secretario de Estado de Economía, de la Energía y de la Pequeña y Mediana empresa.

El Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica, quien actuará como secretario.

El Secretario General de Gestión y Cooperación Sanitaria.

El Director del Departamento de Bienestar y Educación de la Presidencia del Gobierno.

Un segundo Organismo a destacar, y que se constituye como Órgano de apoyo a la Comisión interministerial de Ciencia y Tecnología, es la Comisión Permanente. Sus funciones y composición dependen de la CICYT, de acuerdo con lo que señala el artículo 7º de la “Ley de la ciencia”. En este sentido, éstas fueron acordadas por acuerdo del Pleno de la Comisión

Interministerial de Ciencia y tecnología, de 4 de diciembre de 2000. La composición de este Organismo es la siguiente:

Presidente: La Ministra de Ciencia y Tecnología.

Vicepresidente: El Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica.

Vocales:

El Secretario de Estado para la Cooperación Internacional y para Iberoamérica.
El Secretario de Estado de Defensa.

El Secretario de Estado de Educación y Universidades.

El Secretario de Estado de Economía, de la Energía y de la Pequeña y Mediana Empresa.

El Secretario de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información

La subsecretaría de Presidencia

El Secretario general de Gestión y Cooperación Sanitaria

El Director del Departamento de Bienestar y Educación del Gabinete del Presidente del Gobierno

Secretario sin voto: El director general de Investigación.

El tercer Organismo importante que destacamos es el Consejo General de la Ciencia y la Tecnología. Este Organismo tiene funciones consultivas y se encarga de promover la coordinación en materia de investigación científica y técnica entre las diferentes Comunidades Autónomas entre sí, y de éstas con la Administración del Estado. Además, se encarga de realizar valoraciones relativas al grado de coordinación que presenta el Plan Nacional. En cuanto a su estructura, está presidido por el Presidente de la CICYT, y está formado por un representante de cada Comunidad Autónoma y por todos los miembros de la CICYT.

Un cuarto Organismo es el Consejo Asesor de la Ciencia y la Tecnología. Su función principal es la de servir de nexo de unión entre la comunidad científica, los agentes sociales y los responsables de programar la actividad científica. Además, garantiza que los objetivos de

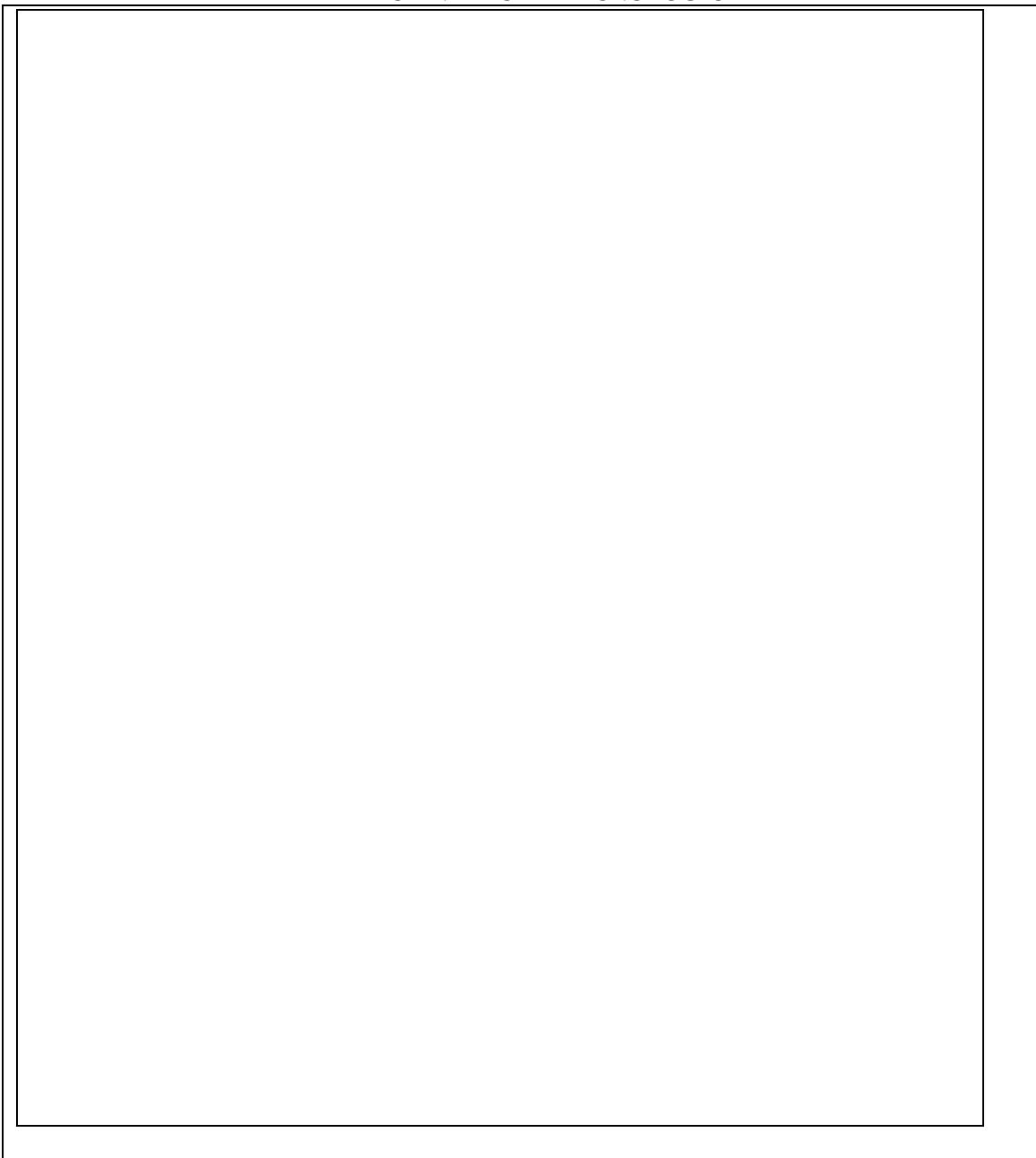
esta programación se ajustan a los intereses y necesidades sociales. Está presidido por la ministra del Ministerio de Ciencia y Tecnología y formado por tres científicos de prestigio reconocido, dos representantes de las asociaciones privadas de investigación, dos de asociaciones empresariales, dos de Organizaciones sindicales, uno de la Secretaría General de Promoción Industrial y Tecnología, uno del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial y catorce vocales designados por el Presidente del Consejo Asesor, de los cuales dos son miembros de la CICYT y diez son empresarios.

El quinto Organismo que destacamos es el Ministerio de Ciencia y Tecnología, el mismo es el responsable, como ya dijimos, de la política científica y tecnológica española, así como de la realización coordinada de la gestión y seguimiento de dicha política. En cuanto a su Organización, es la Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnológica la responsable de la consecución de los objetivos estratégicos del Plan Nacional de I+D+I, así como de la supervisión de las actividades en materia de investigación científica y tecnológica de este Ministerio. Dependen de esta Secretaría: la Secretaría General de Política Científica, la Dirección General de Investigación y la Dirección General de Política Científica. Así mismo, están a ella adscritas: La Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (que es la encargada de realizar la evaluación científica-técnica y el seguimiento de los resultados de las acciones del Plan Nacional de I+D+I; también contribuye a la realización de los estudios y análisis prospectivos en materia de investigación científica y desarrollo tecnológico); Entidades Públicas Empresariales como el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), y la Gerencia del Sector de la Construcción Naval; y Organismos Públicos de Investigación como el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), El Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia (INIA), el Instituto Español de Oceanografía (IEO), y el Instituto Tecnológico

Geominero de España (ITGE). Por último, se relaciona administrativamente al Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través de esta Secretaría, el Instituto Astrofísica de Canarias.

El siguiente organigrama muestra la composición de la Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnológica que es la responsable, dentro del Ministerio de Ciencia y Tecnología, de la política científica y tecnológica en nuestro país.

FIGURA 3.1.
**COMPOSICIÓN DE LA SECRETARÍA DE ESTADO DE POLÍTICA
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**



FUENTE: http://www.mcyt.es/grupo_organizacion.htm

Decir también que dentro del Ministerio de Ciencia y Tecnología, y en concreto de la Subsecretaría de Ciencia y Tecnología, se encuentra adscrita como Organismo autónomo la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). Esta Oficina se encarga de impulsar y apoyar el desarrollo tecnológico y económico, otorgando protección jurídica a las distintas modalidades de

propiedad industrial mediante: la concesión de patentes y modelos de utilidad (invenciones); modelos y dibujos industriales (creaciones de forma o diseños); marcas, nombres comerciales y rótulos de establecimiento (signos distintivos), y títulos de protección de las topografías de productos semiconductores. Asimismo, difunde la información relativa a las diferentes formas de protección de la propiedad industrial. En el plano internacional, la OEPM es la encargada de representar a España en los distintos foros y Organizaciones Internacionales que se encargan de la propiedad industrial e intelectual.

Además existen Fundaciones públicas que están bajo el protectorado del Ministerio de Ciencia y Tecnología. De éstas, caben destacar en el tema que aquí nos ocupa:

La Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), que creada por acuerdo del Consejo de Ministros del 27 de abril de 2001, a iniciativa del Ministerio de Ciencia y Tecnología, opera como una entidad sin ánimo de lucro y con autonomía funcional, con el objeto de prestar un servicio continuado y flexible al sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa; y contribuye, asimismo, a identificar oportunidades y necesidades, a la vez que propone formas de actuación a los agentes del Sistema de Investigación Científica y de Innovación Tecnológica.

El Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI) que nació a finales de 1997 por iniciativa del entonces Ministerio de Industria y Energía, y se convirtió en Fundación en 1999. Su Patronato está compuesto por entidades, tanto públicas como privadas, con capacidad tecnológica propia y vinculación con el mundo tecnológico. Su objetivo es generar información inteligente sobre la evolución de la tecnología que facilite a la Administración y a las empresas la toma de decisiones. También, y a través de sus actividades de prospectiva y vigilancia tecnológica, esta Fundación tiene por objetivo el ayudar a identificar tecnologías emergentes.

Existe también una Comisión de Ciencia y Tecnología en el Congreso y otra en el Senado, así como una comisión mixta de ambas que es la encargada de elaborar el dictamen anual sobre cumplimiento del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, dictamen que es preceptivo. También se encarga esta Comisión del seguimiento permanente del Plan, y de elaborar las líneas maestras de la política científica y tecnológica en España. Esta Comisión está formada por 22 diputados y 16 senadores.

No queremos finalizar este, por fuerza, breve repaso por el marco institucional del actual Sistema Público de Ciencia-Tecnología-Empresa sin mencionar las Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación. Éstas, creadas por los diferentes Organismos Públicos de Investigación, Universidades e Institutos sin Fines de Lucro, tienen por misión coordinar el mundo empresarial con los resultados de la investigación pública.

Tampoco queremos acabar sin mencionar que existen Centros Públicos de Investigación, como por ejemplo el Instituto Carlos III vinculado al Ministerio de Sanidad y Consumo, y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) que se vincula al Ministerio de Defensa, que pertenecen a distintos Ministerios, diferentes al de Ciencia y Tecnología, o Centros de Investigación que tienen su sede en las Universidades, o están vinculados a Comunidades Autónomas²⁰² o Ayuntamientos.

5. El Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación

El Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, que como ya dijimos más arriba, se estableció por primera vez en 1986 en la llamada Ley de la Ciencia, se configura como: “el mecanismo básico de fomento, coordinación y programación en el ámbito de la I+D y como instrumento fundamental para el desarrollo de la política científica española. En él se fijan los

²⁰² También las Comunidades Autónomas tienen planes de Investigación, Desarrollo e Innovación. Éstos son tenidos en cuenta por el Plan Nacional de I+D+I.

objetivos, se priorizan las acciones y se prevé la movilización de recursos hacia áreas de especial interés estratégico para el desarrollo de la sociedad, al mismo tiempo que se apoya la investigación básica de calidad” (CICYT, 1993: 11).

En el momento de escribir estas páginas está en vigor el IV Plan Nacional de I+D+I (2000-2003): “que integra todas las actuaciones gestionadas por los diferentes Departamentos ministeriales con competencias en I+D que se financian con cargo a los Presupuestos Generales del Estado o mediante recursos extrapresupuestarios (fondos estructurales de la Unión Europea, recuperaciones de créditos a empresas, etc.)” (CICYT, 2001: 13). Además, este IV Plan de I+D+I persigue los siguientes objetivos estratégicos: “incrementar el nivel de la ciencia y la tecnología españolas, tanto en tamaño como en calidad, evaluar la competitividad de las empresas y su carácter innovador, mejorar el aprovechamiento de los resultados de I+D por parte de las empresas y de la sociedad española en su conjunto, fortalecer el proceso de internacionalización de la ciencia y la tecnología españolas, incrementar los recursos humanos cualificados, tanto en el sector público como en el privado, aumentar el nivel de conocimientos científicos y tecnológicos de la sociedad española, y mejorar los procedimientos de coordinación, evaluación y seguimiento técnico del Plan Nacional” (CICYT, 2000: 9-10).

Asimismo el IV Plan Nacional de I+D+I se estructura como complemento y refuerzo: del V Programa Marco de I+D de la Unión Europea (1999-2002), de las acciones finanziadoras de los Fondos Estructurales, y tiene en cuenta los Planes Regionales de I+D+I. En cuanto a las áreas de actuación prioritarias que considera son: las áreas científico-tecnológicas²⁰³ y las áreas sectoriales²⁰⁴. Las primeras se ligan al desarrollo de conocimientos propios de una tecnología o

²⁰³ Aquí se incluyen: la biomedicina, la biotecnología, el diseño y promoción industrial, materiales, procesos y productos químicos, recursos naturales, recursos y tecnologías agroalimentarias, tecnologías de la información y de las comunicaciones, y socioeconomía.

²⁰⁴ Las áreas sectoriales son: aeronáutica, alimentación, automoción, construcción civil y conservación del patrimonio histórico cultural, defensa, energía, espacio, medio ambiente, sociosanitaria, sociedad de la información transportes y ordenación del territorio, turismo, ocio y deporte.

disciplina científica, y permiten incrementar los conocimientos sobre ellas para su aplicación a corto, medio o largo plazo. La segunda se orienta a la demanda empresarial y social y se dirige a la resolución de problemas en un determinado sector socioeconómico estratégico. Otro de los objetos considerados por el IV Plan Nacional son las actividades de investigación básica no orientada²⁰⁵, que se caracterizan por no estar ligadas en especial a ninguna área determinada.

Las áreas prioritarias de actuación se agruparon como muestra el siguiente cuadro.

**CUADRO 3.1.
ÁREAS PRIORITARIAS DE ACTUACIÓN DEL IV PLAN NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (2000-2003)**

Área de investigación básica no orientada
-Promoción general del conocimiento
-Astronomía y astrofísica
-Física de partículas elementales y grandes aceleradores
-Fusión termonuclear
-Difusión de la ciencia y la tecnología
Áreas científico-tecnológicas
-Biomedicina
-Biotecnología
-Diseño y producción industrial
-Materiales
-Procesos y productos químicos
-Recursos naturales
-Recursos y tecnologías agroalimenticias
-Tecnologías de la información y las comunicaciones
-Socioeconomía
Áreas sectoriales
-Aeronáutica
-Alimentación
-Automoción
-Construcción civil y conservación del patrimonio histórico cultural
-Defensa
-Energía
-Espacio
-Medio ambiente
-Sociosanitaria
-Sociedad de la información
-Transportes y ordenación del territorio
-Turismo, ocio y deporte

FUENTE: CICYT (2001: 34-35)

²⁰⁵ Éstas son: Promoción General del Conocimiento, astronomía y astrofísica, física de partículas elementales y grandes aceleradores, fusión termonuclear y la difusión de la ciencia y la tecnología.

Por otro lado, las áreas de actividad científico-tecnológicas y sectoriales requieren de un conjunto de acciones horizontales que posibiliten el cumplimiento de sus objetivos. Las que señala en IV Plan Nacional son: la potenciación de los recursos humanos de I+D+I (que pretende incrementar el número de investigadores y tecnólogos en nuestro país y favorecer su formación y movilidad); la cooperación internacional (que tiene como finalidad el fortalecer las actuaciones internacionales y cooperar con los organismos y programas internacionales de I+D); y la Innovación tecnológica, trasferencia y difusión de los resultados de las actividades de I+D a los sectores productivos.

El IV Plan también menciona diversos tipos de Centros de I+D+I, entre ellos menciona expresamente: los centros de competencia (que se conciben como una Organización estable de carácter público, privado o mixto –financiación pública y/o privada-, y que están dotados de autonomía científica, tecnológica y administrativa para cumplir con sus objetivos de desarrollo de un área científico-tecnológica o sectorial); los centros de excelencia en dominios de investigación emergentes (que apoyan las actividades de excelencia que están conectadas con centros e Instituciones de ámbito internacional); los centros tecnológicos en áreas de interés para sectores empresariales (son centros de referencia en un área aplicada de interés para determinados sectores empresariales, especialmente las PYME), los centros distribuidos en red (que implica la creación de una estructura de coordinación en red de centros que tienen medios de atención a clientes externos, y ser centros de servicios); y las grandes instalaciones científico-técnicas (que favorecen la I+D en un área determinada, catalizan el desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con el diseño y la construcción de instalaciones, impulsan la cooperación internacional y refuerzan la cohesión científica y tecnológica). También, y a fin de disponer de una estructura que facilite la vigilancia tecnológica y la realización de estudios de prospectiva, el IV Plan Nacional prevé la creación de un observatorio de vigilancia y prospectiva científica y tecnológica.

El IV Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica dispone de diferentes modalidades de participación e instrumentos financieros. Las primeras se desarrollan por áreas mediante la participación de los distintos agentes del Sistema de Ciencia-Tecnología-Empresa. Dicha participación contribuye a cumplir, entre otros objetivos, con: el fortalecimiento de los grupos de I+D y de las empresas innovadoras, la complementariedad entre modalidades de participación, el apoyo a la vertebración entre los agentes ejecutores de la I+D+I, la calidad y la competitividad. Además, dicha participación se clasifica en las siguientes categorías: potenciación de recursos humanos (que incluye la formación mediante becas; la movilidad mediante estancias de los investigadores en centros o empresas españoles o extranjeros; y la contratación mediante, entre otras, la incorporación de doctores a empresas, centros tecnológicos, o centros públicos de I+D; y la contratación de tecnólogos en PYMES); proyectos de I+D (que incluye proyectos en el área de investigación básica no orientada, proyectos de I+D ligados a las áreas científico-tecnológicas y sectoriales, proyectos de I+D en cooperación, y la financiación de grupos consolidados de centros públicos y centros tecnológicos, por períodos de cinco años y previa determinación de unos objetivos esperables); soporte a la innovación tecnológica (que se remite a acciones de innovación tecnológica para la incorporación de tecnologías ya existentes, y de demostración tecnológica dirigidas a comprobar la viabilidad de tecnologías incipientes, al fomento de la creación de nuevas empresas de base tecnológica a partir de resultados de los centros públicos de investigación, etc.); equipamiento científico-técnico (destinado a pequeños equipamientos, adquisición, mejora y renovación de instalaciones científico-técnicas de tamaño mediano, ayuda para la puesta en marcha de nuevos centros de competencia, y para la mejora del funcionamiento y aprovechamiento de las grandes instalaciones); acciones estratégicas

(cuyos fines son, entre otros, ayudar a promover la participación de grupos españoles en programas internacionales de cooperación científica, divulgar los resultados científicos y tecnológicos a la sociedad, realizar estudios relativos al Sistema de Ciencia-Tecnología-Empresa, apoyar la promoción internacional y la transferencia de tecnología). Los instrumentos financieros que considera el Plan son: la subvención total o parcial, la subvención concurrente que se asocia a un crédito, un crédito reembolsable a bajo interés y con compromiso de devolución variable en función del éxito alcanzado, el reafianzamiento de crédito que avala el riesgo técnico asociado a un crédito comercial, la participación en capital con fondos de arranque que fomentan la creación de base tecnológica, y el fondo de coinversión para consolidar empresas de base tecnológica. También se consideran instrumentos fiscales como: las mejoras en el régimen general de I+D, en el que se considera una deducción general de las cuotas de un 30%, y del 50% para el exceso sobre la media de gastos efectuados en los dos ejercicios anteriores; además de una deducción del 10% por gastos de personal investigador y proyectos contratados con Universidades, Organismos Públicos de Investigación (OPI) y centros tecnológicos. Por último, se plantean incentivos para la innovación tecnológica que implican: una deducción del 15% por proyectos de innovación tecnológica en colaboración con Universidades, OPI y centros tecnológicos; y una deducción del 10% por gastos de diseño industrial e ingeniería de procesos de producción, por la adquisición de tecnología avanzada, y por los gastos de certificación de normas de calidad.

El IV Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica supone algunos cambios en relación con los anteriores. Cabe destacar, entre ellos, los siguientes: la presentación de una estrategia global y coordinada de todas las actividades financiadas con

créditos en la Función 54 de los Presupuestos Generales del Estado (PGE), lo cual ha implicado un aumento del tanto por ciento del gasto financiado, que en anteriores Planes se situaba en el 15%; también se ha extendido el ámbito de actuación de la innovación tecnológica, que va de la generación de conocimiento hasta que nuevos productos o servicios que se ponen en marcha; una nueva definición e impulso del marco de cooperación con las Comunidades Autónomas; la articulación de la sinergia con las actuaciones de Programa Marco y de los fondos estructurales de la Unión Europea; el diseño de un marco completo de actuación para todos los agentes del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa; el establecimiento de un sistema anual de actuaciones y prioridades, la introducción de evaluaciones periódicas para los proyectos; la definición del presupuesto de I+D sobre la base de su prioridad estratégica en el gasto público, el aumento de los recursos humanos tanto en cantidad como en calidad, y un aumento de la importancia del sector privado en el impulso del Sistema de Ciencia-Tecnología-Empresa; y la creación de nuevos instrumentos financieros adaptados a los que realizan la I+D en nuestro país.

6. Principales indicadores del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa²⁰⁶

Los indicadores de Ciencia-Tecnología-Empresa han venido siendo tradicionalmente referidos a las actividades de I+D. En este sentido, el Manual Frascati ha sido la referencia principal en los países de la OCDE para clasificar y clarificar dichas actividades. Éstas son entendidas en dicho manual como actividades de investigación fundamental y aplicada, y desarrollo tecnológico y, por tanto, no incluyen la educación y las actividades de formación científica y tecnológica, ni las actividades de apoyo a la investigación. Dada esta exclusión de

²⁰⁶ Todos los datos que señalamos en este apartado están extraídos de la Memoria de actividades de I+D+I del año 1999, elaborada por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, y que fue aprobada en Consejo de Ministros el 30 de noviembre de 2001. La elaboración de los mismos está basada en la información publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) para los datos españoles, y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para los datos comparativos con otros países. Decir también que 1999 fue el último ejercicio en que estuvo en vigor el III Plan Nacional de I+D.

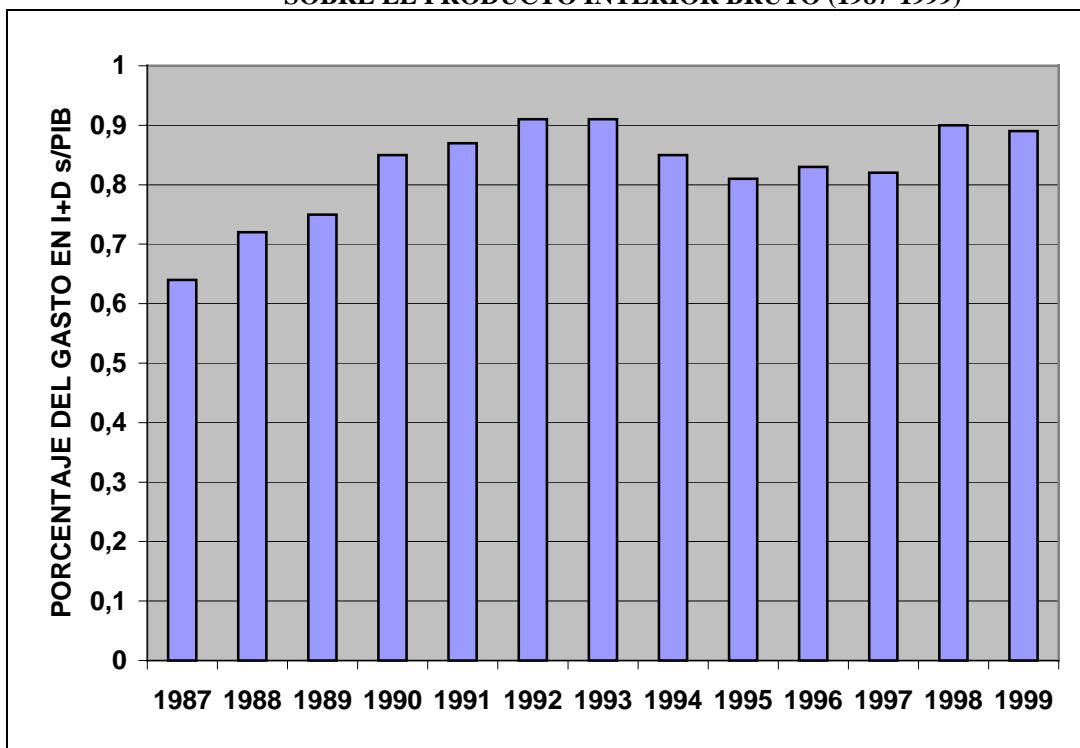
muchas de las actividades vinculadas con la investigación: “desde distintas instancias internacionales se ha propuesto la noción más amplia de <<actividades de ciencia y tecnología>> entendidas como aquellas <<actividades sistemáticas que están directamente concernidas en la generación, el avance, la diseminación y la aplicación del conocimiento científico y técnico en todos los campos de la ciencia y la tecnología. Éstas incluyen actividades de I+D, la enseñanza y formación científica-técnica y los servicios científico-técnicos>>.” (Teresa González de la Fe, 1994: 199).

6.1. Porcentaje del gasto español en Investigación y Desarrollo sobre el Producto Interior Bruto (1987-1999)

El porcentaje del gasto en I+D sobre el PIB es un indicador que da cuenta del esfuerzo global de un país, tanto del sector público como privado, en apoyo de su desarrollo científico y tecnológico, sirve, por tanto, para señalar las posibilidades de crecimiento económico de un país. En este sentido, no hay que olvidar que ya a principios de la década de los 90 Organismos internacionales tan importantes como el Banco Mundial y la CEE integraban en sus propuestas políticas las relaciones del crecimiento económico con las disponibilidades en materia de recursos científico-técnico de los países y regiones²⁰⁷. El gráfico que presentamos a continuación nos muestra la evolución del porcentaje del PIB sobre Investigación y Desarrollo en España para el período 1987-1999.

²⁰⁷ Véase al respecto los informes del Banco Mundial: “Informe sobre el Desarrollo Mundial 1991. La tarea acuciante del desarrollo”, Ed. Banco Mundial, Washington, 1991; y Comunidad Económica Europea: “Las regiones en la década de los noventa”, Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 1991.

GRÁFICO 3.1.
PORCENTAJE DEL GASTO ESPAÑOL EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
SOBRE EL PRODUCTO INTERIOR BRUTO (1987-1999)



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 17)

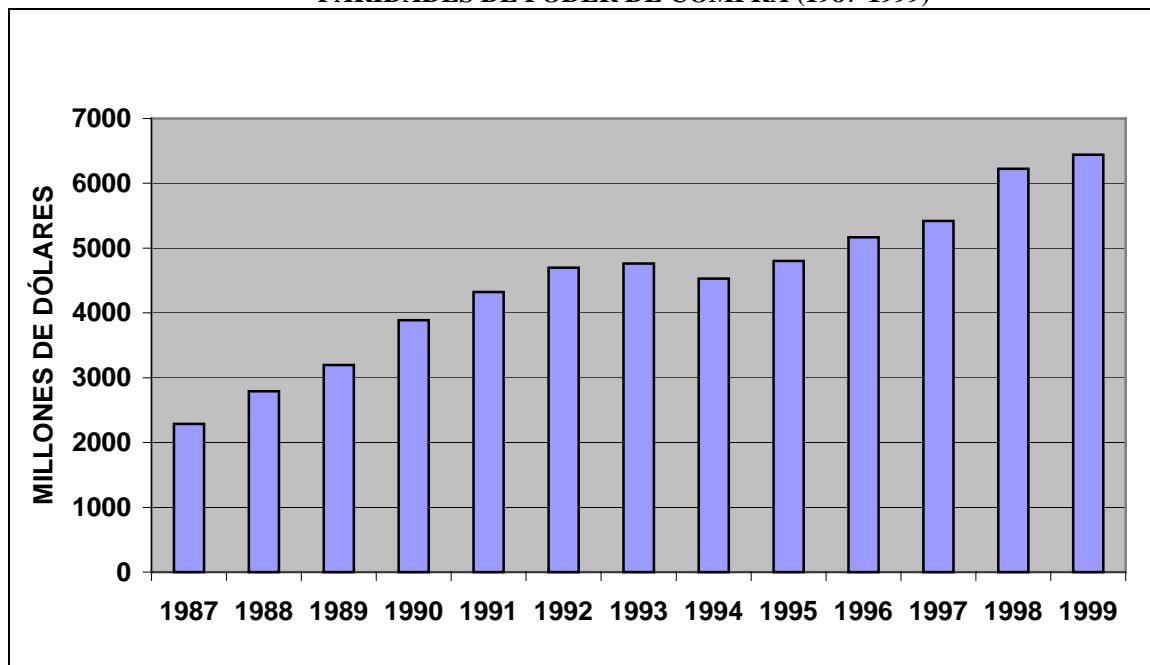
Se aprecia en el gráfico como en el período que va de 1987 a 1993 hubo en España un crecimiento constante del gasto sobre el Producto Interior Bruto. Esto fue debido principalmente a la voluntad política de desarrollar la ciencia y tecnología española a niveles que la equiparan en producción y calidad a la media de la Unión Europea. Para ello, se hizo un esfuerzo importante en la dotación de fondos en infraestructuras y formación de personal investigador. En 1994 se invierte la tendencia al crecimiento del gasto sobre PIB destinado a la I+D en España²⁰⁸, que no vuelve a alcanzar los niveles de 1993 hasta 1998, aunque en 1999 hay un ligero retroceso al respecto.

²⁰⁸ Dicho retroceso se debió principalmente a la caída de la actividad económica, que afectó principalmente a sectores industriales tan intensivos en tecnología como: la informática, la electrónica y los instrumentos de precisión.

6.2. Gasto en Investigación y Desarrollo en millones de dólares con paridades de poder de compra en España (1987-1999)

Lo que se gasta en Investigación científica y Desarrollo tecnológico, y el aumento en las cantidades presupuestadas anualmente a tal fin, es un buen indicador del esfuerzo que se hace y del interés que se tiene en tales áreas, áreas que no olvidemos están consideradas como estratégicas en el mantenimiento y aumento de la riqueza y calidad de vida de los habitantes de un país. El gráfico que presentamos a continuación nos ilustra el gasto en I+D en dólares con paridades de poder de compra en España de 1987 a 1999.

**GRÁFICO 3.2.
GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN MILLONES DE DÓLARES CON PARIDADES DE PODER DE COMPRA (1987-1999)**



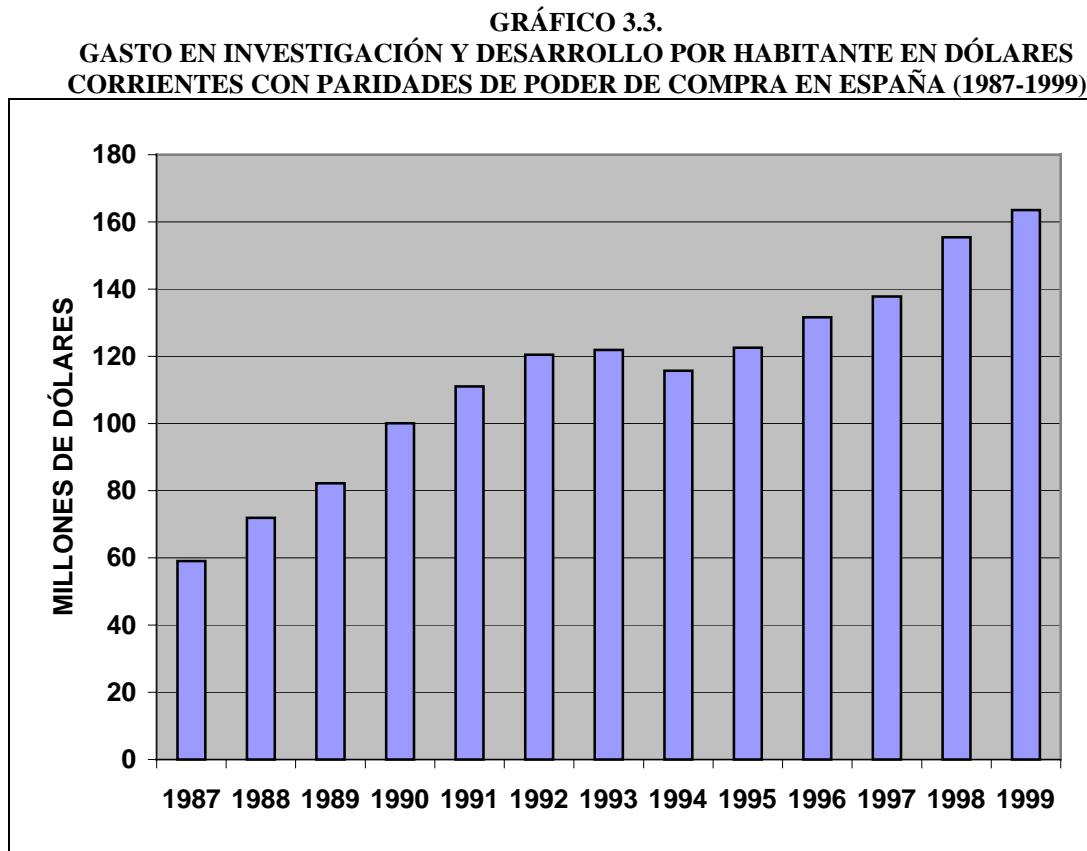
FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 17)

En el gasto en Investigación y desarrollo en millones de dólares con paridades de poder de compra podemos observar como del año 1987 al 1992 se produce un crecimiento constante del mismo (en 1992 la cantidad gastada en I+D era más del doble que en 1987), que de ese año hasta 1995 se produce un estancamiento en ese crecimiento (apenas si hay 100 millones de \$ de

diferencia entre un año y otro), y a partir de 1996 se produce un nuevo aumento, sobre todo en 1998, que se mantiene en 1999.

6.3. Gasto en Investigación y Desarrollo por habitante en dólares corrientes con paridades de poder de compra en España (1987-1999)

El gasto en Investigación científica y Desarrollo tecnológico por habitante es otro buen indicador para medir el esfuerzo que realiza en un país en la promoción de estas áreas. El gráfico que presentamos a continuación nos informa sobre cual fue éste en España de 1987 a 1999.



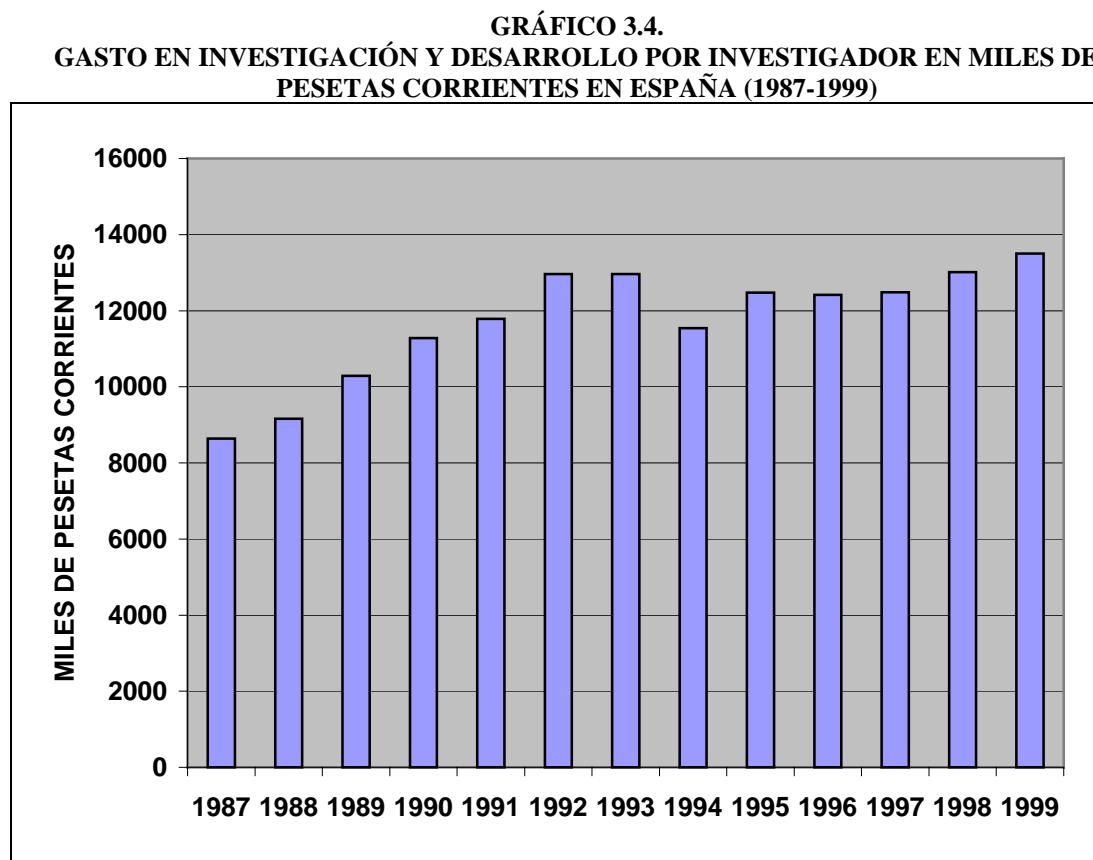
FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 17)

Al igual que ocurría en los casos anteriores se observa un aumento constante del gasto en Investigación desarrollo por habitante en el período 1987-1992, para pasar en el de 1992-

1995 a un estancamiento del mismo, y de 1996 a 1999 se vuelve a producir un nuevo impulso en el gasto.

6.4. Gasto en Investigación y Desarrollo por investigador en miles de pesetas corrientes en España (1987-1999)

El último indicador que vamos a ver de los recursos económicos que destina nuestro país a la I+D es el que relaciona su gasto por investigador. Es éste otro buen y clásico indicador sobre los esfuerzos que un país hace en el avance de estas áreas. Presentamos de nuevo un gráfico para ilustrar este apartado.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 17)

Como bien se ve en el gráfico, existe un aumento constante en el gasto en I+D por investigador en el período 1987-1992, un estancamiento, incluso un ligero retroceso en los años

que van de 1993 a 1997, y un ligero aumento en los años 1998 (que se sitúa, a pesar de ese aumento, en términos parecidos a los de 1992) y 1999.

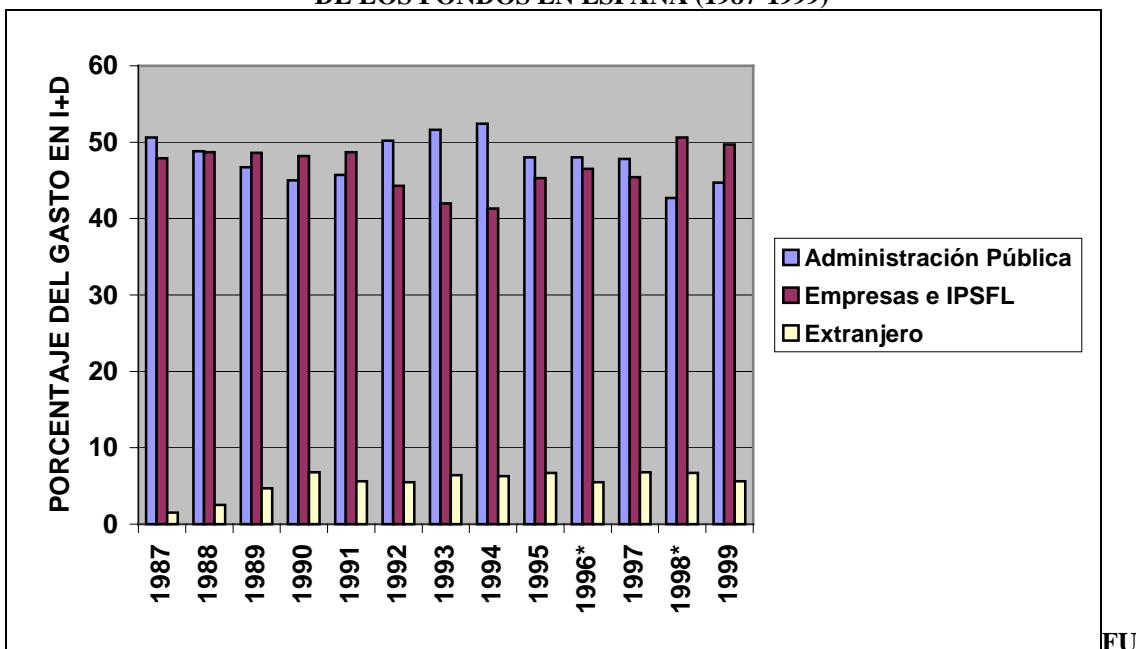
Como conclusión de los datos sobre recursos económicos vertidos a la Investigación científica y Desarrollo tecnológico en España entre 1987 y 1999 puede decirse que se observan claramente tres períodos. El primero que va de 1987 a 1992 se caracteriza por aumento constante de los fondos destinados a estas áreas; en el segundo que transcurre entre 1993 y 1996 ó 1997, según el indicador que escojamos, se produce un estancamiento del gasto²⁰⁹, e incluso un pequeño retroceso; en el tercer período que empieza en 1996 ó 1997, dependiendo de nuevo del indicador escogido, se produce un pequeño nuevo impulso que supone un nuevo crecimiento constante de los fondos destinados en España a la I+D.

6.5. Distribución del gasto en Investigación y Desarrollo por origen de los fondos en España (1987-1999)

Este es un buen indicador para observar cuales son los Organismos responsables de financiar la Investigación y Desarrollo, y recordemos al respecto que una financiación mayor por parte de las empresas supone un mayor acercamiento al consumidor. El gráfico que presentamos nos ilustra este indicador en nuestro país para los años que van de 1987 a 1999.

²⁰⁹ Nos parece oportuno hacer constar aquí que nosotros nos situamos en la corriente que no considera gasto el dinero destinado a la I+D, sino inversión. Sin embargo, hemos optado por respetar el concepto empleado por la Memoria de Actividades de I+D+I de 1999 que nos sirve de fuente de los datos que aquí estamos comentando.

GRÁFICO 3.5
DISTRIBUCIÓN DEL GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO POR ORIGEN DE LOS FONDOS EN ESPAÑA (1987-1999)



ENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 18)

*Estimaciones

IPSFL: Instituciones privadas sin fines de lucro

FU

El gráfico muestra que de 1987 a 1991 existe cierto equilibrio entre el porcentaje del gasto en I+D de las Administraciones Públicas y las empresas e IPSFL; este equilibrio se rompe en 1992, donde las Administraciones Públicas aumentan sus gastos en I+D y las empresas e IPSFL los disminuyen; el pico de esta situación se da en 1994, año en el cual la diferencia entre las primeras y los segundos en porcentaje de gasto es mayor que en ningún otro. No es extraño, por tanto, que ante tal situación saltaran luces de alarma, máxime cuando: “Uno de los objetivos principales de la política de I+D europea y en particular del IV Programa Marco (1995-1998) es sentar las bases científicas y tecnológicas que permitan un fortalecimiento de la industria europea que, a su vez, favorezca el desarrollo de su competitividad en el ámbito internacional” (Oro, 1995: 3). Y en este mismo sentido: “El IV Programa Marco de I+D de la Unión Europea, dotado con 1,9 billones de pesetas para el período 1995-1998, pone especial énfasis en la participación de las industrias en los diferentes Programas específicos y actividades que lo componen. Uno de los objetivos esperados de la participación de las empresas es contribuir al

aumento de la competitividad, crecimiento económico y creación de empleo en el conjunto de la Unión Europea. Al mismo tiempo, los Estados miembros de la UE y otros países desarrollados, notablemente Japón y EEUU, han establecido políticas científicas nacionales, que incluyen igualmente una serie de medidas que estimulan la innovación en las empresas a través de la investigación y el desarrollo tecnológico, y facilitar la transmisión de conocimientos y tecnología desde los centros financiados con fondos públicos a las empresas. Queda, pues, patente que la participación empresarial en I+D y la cooperación entre el sector público y el privado es una ambición de todos los países desarrollados” (Banda, 1995: 30)²¹⁰. De 1995 a 1997 la diferencia de porcentajes entre lo aportado por la Administración Pública y las empresas e IPSFL vuelve a aproximarse, y en 1998 y 1999 estas últimas son las que más porcentajes aportan, al aumentar su participación y disminuir la de la Administración Pública; siendo el primer año mencionado el que presenta el punto de gasto de I+D más alto por parte de empresas e IPSFL.

Decir también que la participación empresarial española en el IV Programa Marco: “Según datos presentados por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), el salto cuantitativo del sector industrial ha sido notable, pasando de 248 empresas en el III Programa Marco (1990-1993), a 638 en el IV (1994-1998). (Por otra parte según el informe del CDTI citado) un total de 1677 grupos españoles de Universidades, Organismos Públicos han participado en 1463 de los 4350 proyectos del IV Programa Marco (...) Ahora bien, la participación española sigue siendo de segunda línea si se tiene en cuenta la financiación media que han recibido las empresas, 21 millones de pesetas, en los proyectos comunitarios de investigación, que es inferior a la media alcanzada en otros países. De hecho, la subvención aumenta a unos 50 millones de pesetas de media cuando los españoles han actuado como líderes del proyecto.

²¹⁰ Enric Banda era Secretario General del Plan Nacional de I+D en el momento de escribir lo que citamos.

Una decena de Universidades, sobre todo de Madrid y Barcelona, cinco Centros Públicos de Investigación y una docena de empresas han sido los más destacados protagonistas españoles en los proyectos de investigación, desarrollo y demostración en el IV Programa Marco. Además, la mitad de la participación en los 1463 Programas de éste corresponde a Universidades y Centros Públicos de Investigación.²¹¹

Por otro lado, la tendencia observada en el IV Programa Marco hacia una investigación más aplicada ha aumentado en el V Programa Marco (1999-2002). Así, en la presentación del mismo en la ciudad alemana de Essen, en una conferencia organizada por la Comisión de la EU, el 25 de febrero de 1999, Edith Cresson, comisaria europea de la Ciencia, la Investigación y el Desarrollo centró los ejes de la estrategia de la Unión Europea en I+D con estas palabras: “La investigación ya no se ve como una actividad autónoma dedicada al único objetivo de aumentar el conocimiento. La sociedad hace numerosas y fuertes demandas a los investigadores; los ciudadanos esperan de la ciencia y de la tecnología progresos concretos en materia de salud, medio ambiente, transporte y energía.” (Ribera, 1999a)²¹². En este mismo sentido, Alicia Ribera enviada especial de El País a la conferencia de Essen comentaba: “A nadie se le escapó ayer el reforzamiento de la tendencia comunitaria a poner énfasis en la investigación aplicada y en la componente industrial de la I+D en detrimento, según muchos, de la ciencia básica.” (Ribera, 1999a).

Con relación a los fondos proporcionados por “extranjero” esta se sitúa, como cabría esperar, en un nivel muy bajo. Experimenta un crecimiento de 1987 a 1990 y luego se mantiene en porcentajes muy similares, con el pico más alto (6,8%) en 1990 y el más bajo en 1992 y 1996 (5,5%).

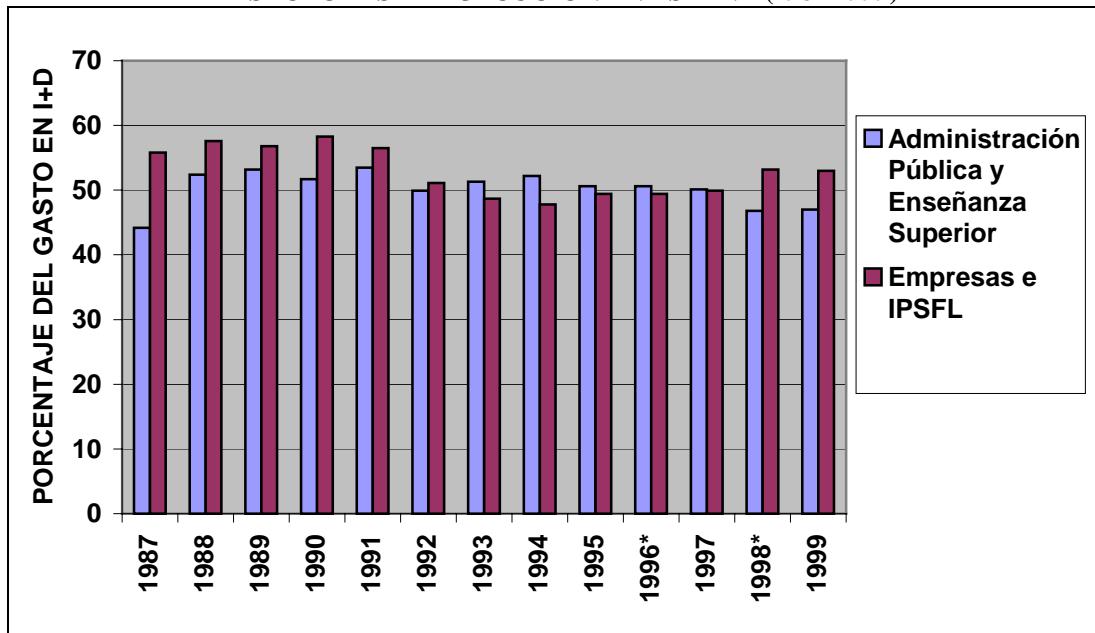
²¹¹ Véase al respecto Alicia Ribera: “España quiere crecer en el nuevo programa europeo de I+D”, <http://www.elpais.es>, 27 de febrero de 1999.

²¹² Extraído de Edith Cresson: “Conferencia Inaugural del V Programa Marco de la Unión Europea de Investigación y Desarrollo 1999-2002”, celebrada en la ciudad de Essen el 25 de febrero de 1999.

6.6. Distribución del gasto en Investigación y Desarrollo por sectores de ejecución en España (1987-1999)

Este es otro buen indicador para mostrar quienes son los responsables de la realización de la I+D. El gráfico que incluimos a continuación nos da cuenta de ello para nuestro país en el período 1987-1999.

**GRÁFICO 3.6.
DISTRIBUCIÓN DEL GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO POR SECTORES DE EJECUCIÓN EN ESPAÑA (1987-1999)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 19)

*Estimaciones

IPSFL: Instituciones privadas sin fines de lucro

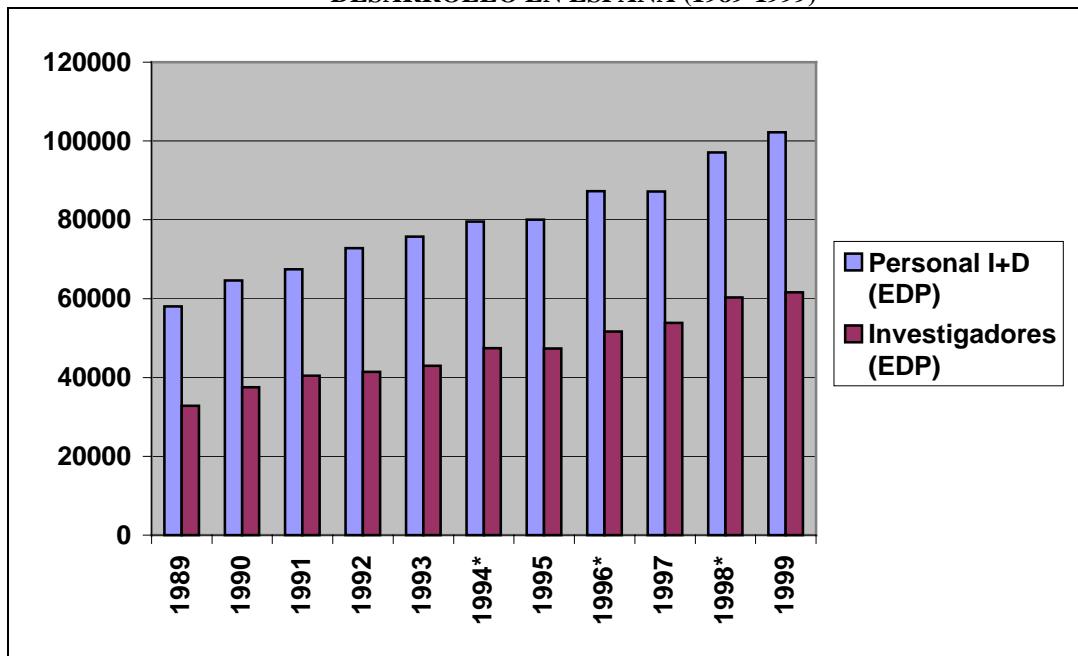
El gráfico muestra un primer período que va de 1987 a 1992, donde las empresas e IPSFL tienen una presencia mayor en la ejecución del gasto en I+D, sobre todo en el primer año señalado, que la Administración Pública y la Enseñanza Superior. El segundo período (1993-1997) se caracteriza por un gasto de ejecución mayor, aunque la diferencia no es mucha, de esta última con relación a las primera. Por último, en los años 1998 y 1999, sobre todo el primero de ellos, las empresas e IPSFL vuelven a tener un porcentaje mayor (sobre 6 puntos) en la

ejecución del gasto según ejecución de la I+D. Lo que implica la preponderancia del desarrollo tecnológico sobre la investigación científica y, por tanto, que el énfasis se pone en el producto o proceso final.

6.7. Personal e investigadores dedicados a la Investigación y el Desarrollo en España (1989-1999)

Es este uno de los indicadores más utilizados para medir la importancia que un país le concede a la Investigación científica y al Desarrollo tecnológico. En este indicador se distingue entre personal dedicado a la I+D e investigadores, se recoge para ambos grupos el número de Equivalentes de Dedicación Plena (que se forma a través de contabilizar la dedicación a un proyecto de investigación por parte del personal auxiliar o investigadores, y equivale a una jornada de trabajo), y se indica también el tanto por mil que cada uno de ellos representa en la población activa. Ilustramos ambos aspectos con el siguiente gráfico.

**GRÁFICO 3.7.
PERSONAL E INVESTIGADORES DEDICADOS A LA INVESTIGACIÓN Y EL
DESARROLLO EN ESPAÑA (1989-1999)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 20)

*Estimaciones

EDP= Equivalente a Dedicación Plena

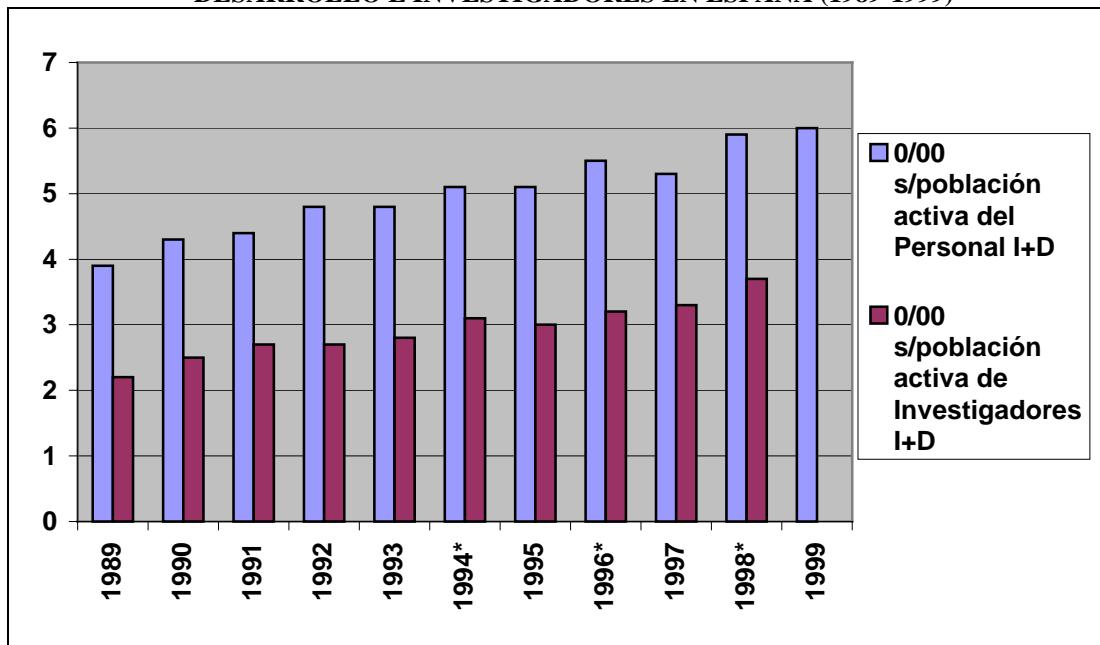
Se observa en el gráfico un aumento, más o menos constante, tanto del Personal como de los investigadores dedicados a la I+D. Situándose dicho aumento en el caso de los primeros, para todo el período indicado, en el 76,19%, y en el de los segundos en el 87,63%. En cuanto a la relación entre ambos grupos se sitúa en términos más o menos similares; siendo que como máximo por cada investigador hay 1,76 de personal de I+D (ello ocurre en 1989 y 1993) y como mínimo 1,61 (en los años 1997 y 1998).

El crecimiento tanto del personal dedicado a la I+D como de los investigadores observado obedece a una clara voluntad política, voluntad que se manifiesta a través de los Planes Nacionales de I+D de dotar a nuestro país de los recursos humanos necesarios para el desarrollo de áreas científico tecnológicas competitivas en el ámbito internacional²¹³. Este esfuerzo basado sobre todo en Programas de Formación de Personal Investigador ha dado como resultado el crecimiento que los datos comentados señalan. Lamentablemente, no todos los formados como personal auxiliar e investigadores en I+D a través de estos Programas financiados con dinero público han logrado incorporarse a Organismos Públicos de Investigación, Universidades o empresas²¹⁴. Por otro lado, la cuota de personal de I+D española respecto a la Unión Europea era tan sólo del 5,4% en 1997 y del 6,1% de los investigadores.

²¹³ Como señaló, la Directora General de Investigación Científica y Técnica, Aurelia Modrego Rico: “sin un esfuerzo en la formación de capital humano, no es posible a largo plazo introducir mejoras técnicas sustanciales en el sector productivo, ni incluso alterar la posición competitiva de un país”. En Aurelia Modrego: “Innovación tecnológica, competitividad y formación de recursos humanos”, *Documento de trabajo de la Universidad Carlos III*, noviembre de 1993, p. 7.

²¹⁴ Véase al respecto Luis Miguel Ariza: “Luces y sombras de la ciencia española”, *Muy interesante*, nº 209, octubre de 1998, pp. 81-94.

GRÁFICO 3.8.
**TANTO POR MIL SOBRE POBLACIÓN ACTIVA DE PERSONAL DE INVESTIGACIÓN Y
 DESARROLLO E INVESTIGADORES EN ESPAÑA (1989-1999)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001:20)

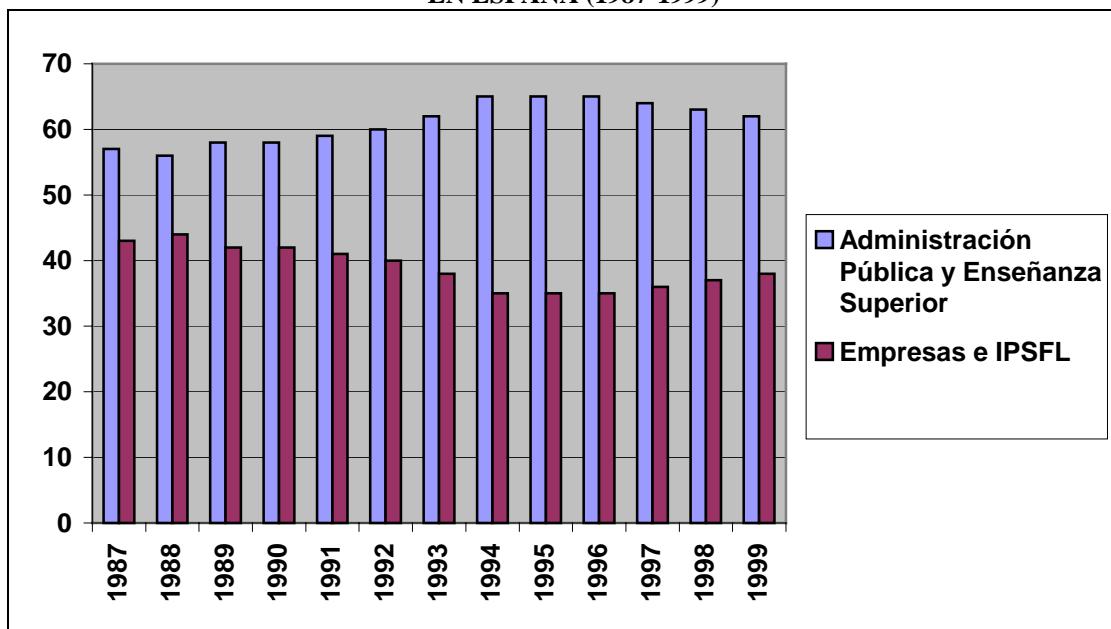
*Estimaciones

Se observa en el gráfico un aumento constante, aunque con períodos donde hay estancamientos e incluso retrocesos, del porcentaje sobre población activa tanto de personal de I+D como de investigadores. Lamentablemente no disponemos del mismo para investigadores en 1999, aunque el crecimiento observado hasta 1998 fue del 51,28% para el personal de I+D y del 68,18% para los investigadores; y ello con relación al primer año observado (1987). Pese a este crecimiento, todavía existe distancia en el porcentaje de personal de I+D e investigadores que tiene España y la media de los que hay en la Unión Europea. A este respecto, mientras en España en 1997 el porcentaje de los primeros se situaba en el 5,3 por mil sobre población activa, la media de la UE era del 9,4 por mil; y mientras era del 3,3 por mil en España para los investigadores, la media de la UE era del 5 por mil.

6.8. Distribución por sectores de ejecución del personal e investigadores dedicados a la I+D en España (1987-1999)

No es suficiente con indicar la cantidad de personal y de investigadores que se dedican en nuestro país a la I+D, como no lo es tampoco establecer su dimensión sobre la población activa. Hay, además, que consignar como ambos colectivos se distribuyen en los sectores de ejecución. Es decir, en qué medida los mismos se sitúan en el Sector Público (compuesto por la Administración Pública y la Enseñanza Superior), y qué dimensión ocupan en el Sector Privado (Empresas e IPSFL). Los gráficos que incluimos a continuación nos muestran los porcentajes de ambos grupos en nuestro país desde 1987 a 1999. El primero, para el personal dedicado a la I+D, y el segundo para los investigadores.

**GRÁFICO 3.9.
DISTRIBUCIÓN POR SECTORES DE EJECUCIÓN DEL PERSONAL DEDICADO A LA I+D
EN ESPAÑA (1987-1999)**

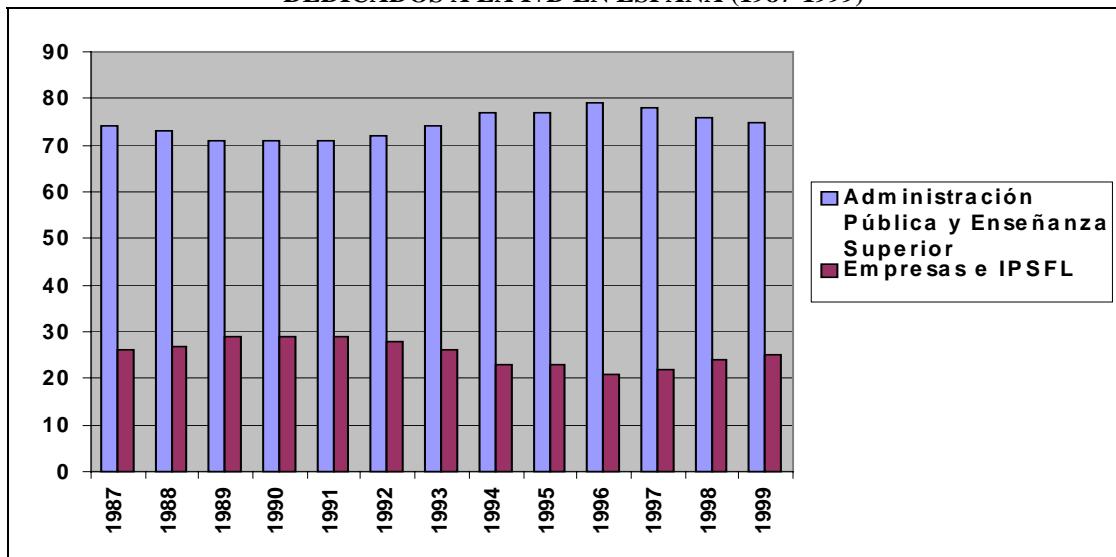


FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 20)

El gráfico nos muestra un aumento constante (excepto para el año 1988 donde hay una ligera disminución) del personal dedicado a la I+D en el Sector Público, que se corresponde con una disminución del Sector Privado, para el período 1987-1996. En el período 1997-1999 hay

una ligera (solo tres puntos; a un punto por año) disminución del primero de ellos, y un aumento del segundo.

**GRÁFICO 3.10.
DISTRIBUCIÓN POR SECTORES DE EJECUCIÓN DE LOS INVESTIGADORES
DEDICADOS A LA I+D EN ESPAÑA (1987-1999)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 20)

El gráfico muestra tres escenarios distintos. En el primero de ellos (1987-1991) hay una ligera disminución (solo de tres puntos) de los investigadores del Sistema Público, y aumento similar de los del Sector Privado. En el segundo (1992-1996) hay un aumento de los investigadores del Sector Público (de siete puntos), y una disminución en la misma proporción del Sistema Privado. El tercero (1997-1999) vuelve a disminuir el porcentaje de investigadores situados en el Sector Público (en cuatro puntos), y aumenta el que se sitúa en el Sector Privado.

Con todo, lo más importante aquí es el gran peso que tiene el Sector Público en la distribución del personal y de los investigadores que en España se dedican a la I+D y el pequeño peso que tienen las empresas. El comentario no resulta del todo baladí si tenemos en cuenta, por ejemplo, que las empresas de la Unión Europea emplearon ya en 1993, como media, al 54,2% del personal dedicado a la I+D frente al 37% que hemos visto para España (para ese año, pero también en 1999); y el 48,7% de los investigadores frente al 26% español (para ese año, y el

25%, tan sólo, en 1999). Si además tenemos presente que es en las empresas donde se realiza la Investigación y Desarrollo más próxima a la comercialización y que, por tanto, es la que se realiza en éstas la que resulta más rentable desde el punto de vista de rentabilidad económica y creación de empleo. Esta distribución del personal y de los investigadores dedicados a la I+D en España no sólo está alejada de la que ofrecen los países que nos sirven de marco de referencia, sino que incluso resulta inadecuada a la hora de que sean las empresas autóctonas las que puedan utilizar las investigaciones realizadas por el Sector Público. Esto supone que investigaciones realizadas por laboratorios públicos españoles sean aprovechadas mejor por empresas de terceros países, que aumentan de este modo su riqueza sin atender a los costes de investigación.

6.9. Resultados del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa (1991-1998)

En este apartado veremos algunos datos sobre la evolución de la producción científica española en los últimos años, y la compararemos con la que se produjo mundialmente. También diremos algo acerca de las patentes solicitadas; y de ellas las que solicitaron los residentes en nuestro país. Por último, nos detendremos en algunos indicadores referidos a las patentes y su comparación en el contexto internacional.

6.9.1. Producción científica española (1991-1998)

La siguiente tabla nos muestra para el período señalado la producción científica española y su cuota respecto a la producción científica mundial.

TABLA 3.1.
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ESPAÑOLA (1991-1998)

AÑO	PRODUCCIÓN CIENTÍFICA	CUOTA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ESPAÑOLA RESPECTO AL TOTAL DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL (%)
1991	11.903	1,68
1992	13.824	1,91
1993	15.309	2,01
1994	16.214	2,02
1995	18.283	2,13
1996	20.080	2,23
1997	22.077	2,35
1998	23.461	2,51

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 21)

En concreto la tabla nos da cuenta del número de citas en revistas especializadas de los científicos españoles en los años de referencia. Para ello, se ha utilizado el *Science Citation Index* (SCI). Pues bien, los datos muestran un crecimiento, tanto en el número absoluto de citas (que pasaron a ser en el corto período de 8 años un poco más del doble de las iniciales), como de la cuota aportada por científicos españoles al total de la producción mundial. Sin embargo, la producción científica española sigue siendo pequeña pese al incremento experimentado.

Nos limitaremos aquí a describir la situación de la producción científica española de 1991 a 1998 medida en número de citas de los científicos españoles en revistas especializadas. Para ello, utilizaremos el *Science Citation Index* (SCI). Sin embargo, no queremos dejar de señalar: “que las críticas de los análisis bibliométricos (como el aquí presentado) han ocupado importantes espacios en la literatura científica especializada, tanto desde el punto de vista estrictamente epistemológico del significado de las citaciones científicas, como desde las propias limitaciones prácticas que encierran los pormenores del comportamiento de los científicos en el momento de decidir que deberá ser publicada. Generalmente es aceptada la incapacidad de los indicadores de citación para expresar los aspectos relativos a la calidad del trabajo científico, así como su relativo sometimiento a factores ajenos a los criterios de efectividad” (Mirabal, 1994: 9)²¹⁵.

²¹⁵ Extraído de T. Lukoonen: “Citation indicators and peer review their time-scales, criteria, and biases”, *Researche Evaluation*, Vol. 1, N° 1, abril de 1991.

6.9.2. Las patentes en el sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa (1991-1998)

Por lo que se refiere a las patentes, la siguiente tabla nos da una idea de la evolución de este indicador tan importante a la hora de medir los resultados del Sistema Ciencia-Tecnología-Empresa.

**TABLA 3.2.
LAS PATENTES EN EL SISTEMA ESPAÑOL DE CIENCIA-TECNOLOGÍA-EMPRESA (1991-1998)**

AÑO	PATENTES NACIONALES SOLICITADAS	PATENTES NACIONALES SOLICITADAS POR RESIDENTES	PATENTES NACIONALES SOLICITADAS POR NO RESIDENTES	PORCENTAJE QUE REPRESENTAN LAS PATENTES SOLICITADAS POR LOS RESIDENTES
1.991	45.668	2.235	43.433	4,89%
1.992	48.900	2.143	46.757	4,38%
1.993	50.004	2.254	47.757	4,50%
1.994	54.136	2.255	51.881	4,16%
1.995	57.695	2.165	55.530	3,73%
1.996	65.199	2.390	62.809	3,66%
1.997	78.419	2.947	75.442	3,75%
1.998	71.825	2.656	69.169	3,69%

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 21)

En la tabla podemos observar que el crecimiento de las patentes solicitadas por residentes ha sido menor que el crecimiento de las patentes nacionales solicitadas. Esto ha venido a significar en la práctica, excepto en el mínimo crecimiento experimentado en 1993 y 1997 respecto al año anterior, una disminución paulatina del porcentaje de las patentes solicitadas por residentes. Lo cual viene a significar que la dependencia de nuestra industria de las patentes producidas por otros países ha aumentado en vez de disminuido, y ello a pesar del gran esfuerzo realizado por el Plan Nacional de I+D en la promoción de la Ciencia y Tecnología españolas.

¿Pero por qué los residentes en España patentan tan poco? Una de las razones es la falta de tradición de patentar, sobre todo en los Organismos Públicos de Investigación. En este sentido: “<<en la Universidad se primaba que los resultados de la investigación se publicaran en una revista de prestigio, no que se protegieran y explotaran>>, comentaba Juan Manuel

Meneses de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI). Es un motivo encadenado a otro que las patentes poco tenidas en cuenta a la hora de promocionar: “<<Ahora se empiezan a valorar las patentes, sobre todo si están transferidas, pero para subir de categoría necesitas la publicación. Tenemos muy pocos incentivos, lo mismo da si trabajamos como si no>>, opina Pilar Montero, del Instituto del frío, del CSIC” (El pais, 16 de junio de 1999).

A esta falta de incentivos académicos hay que añadir la falta de incentivos económicos para los investigadores que realizan las invenciones. Éstas pertenecen al Centro donde se realizaron. Por otra parte, la empresa española invierte poco en I+D y en buena medida su estrategia consiste en comprar la tecnología que necesita. Y ello aun a costa de pagar las regalías y royalties que esta compra implica.

Tampoco queremos dejar de señalar que respecto a los indicadores sobre patentes, como los que aquí hemos visto, existen críticas referidas a: “su insuficiente cobertura del total de invenciones o innovaciones, las diferencias entre las áreas tecnológicas en cuanto a la posibilidad de patentar, su vulnerabilidad ante el comportamiento del mercado y las diferencias nacionales en cuanto a la legislación sobre patentes” (Mirabal, 1994: 9-10)²¹⁶. Pese a estas limitaciones los indicadores sobre patentes siguen siendo, tomando las cautelas oportunas, instrumentos importantes a la hora de medir los resultados obtenidos por cualquier Sistema de Ciencia-Tecnología-Empresa.

Lo expresado en los párrafos anteriores dedicados a las patentes tiene su correlato en la situación de la transferencia tecnológica española. En este sentido, “de acuerdo con los datos de la encuesta de transferencia de tecnología que realiza el Ministerio de Industria y Energía a las empresas industriales desde el año 1993, los ingresos tecnológicos en 1995 supusieron 20.000

²¹⁶ Extraído de D. Archibugi: “Patenting as an indicator of technological innovation: a review”, *Science and Public Policy*, Vol. 19, Nº 6, diciembre de 1992.

millones de pesetas, lo que supone un descenso del 20% respecto a 1994. En cambio los pagos por tecnología fueron un 8% superiores al año anterior y ascendieron a 138.439 millones de pesetas, por lo que se ha producido un cierto deterioro en estas transacciones” (CICYT, 1997:14).

En este mismo sentido, el mítico <<que inventen ellos>> se traduce hoy en una balanza tecnológica deficitaria y en una escasa participación empresarial en el Sistema de I+D. La balanza tecnológica española aumentó su déficit casi un 60% entre 1993 y 1995; sobre todo por el pago de royalties y rentas de la propiedad industrial, aunque hubo un ligero aumento de los ingresos por venta de tecnología.²¹⁷

La disminución del porcentaje de las patentes solicitadas por residentes para que tengan vigor en España con relación a las solicitadas por los foráneos, el descenso de los ingresos tecnológicos y el aumento de los pagos por tecnología resultan preocupantes dada la importancia de estos *inputs* en la economía de un país. También nos hablan estos indicadores de un cierto fracaso en la consecución de uno de los objetivos prioritarios de la política científica española: el incorporar a las empresas de este país en los Programas Nacionales de Investigación y Desarrollo a fin de que innoven, obtengan sus propias patentes y no sean subsidiarias de las producidas en otros países. Por otro lado, los indicadores que estamos comentando también nos dan cuenta que el Sistema Público de Ciencia y Tecnología español no cubre las necesidades industriales en patentes e *inputs* tecnológicos que necesitan las empresas. Aunque también es cierto, como señala el libro blanco de COTEC, que: “El sistema productivo español no ha mejorado de forma tan clara, ni tampoco ha sido capaz de aprovechar el aumento de calidad del sistema público de I+D. Las empresas que innovan no recurren con suficiente intensidad a la tecnología. Cuando lo hacen, prefieren adquirirla del exterior y a ser posible

²¹⁷ Véase al respecto Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica: *El sistema español de Innovación. Diagnóstico y recomendaciones. Libro Blanco*, Ed. Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, Madrid, 1998, p. 87.

incorporada a los equipos de producción. Son aún menos las empresas que realizan internamente actividades de investigación y desarrollo, y la cooperación con el sistema público de I+D no es muy frecuente. La obligada preocupación por el aumento de la calidad Científica y una falta de orientación desde la propia empresa son las causas de que ésta todavía no se haya beneficiado de la vitalidad de la I+D pública.” (COTEC, 1998: 19)

6.10. Distribución geográfica del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa (1993-1999)

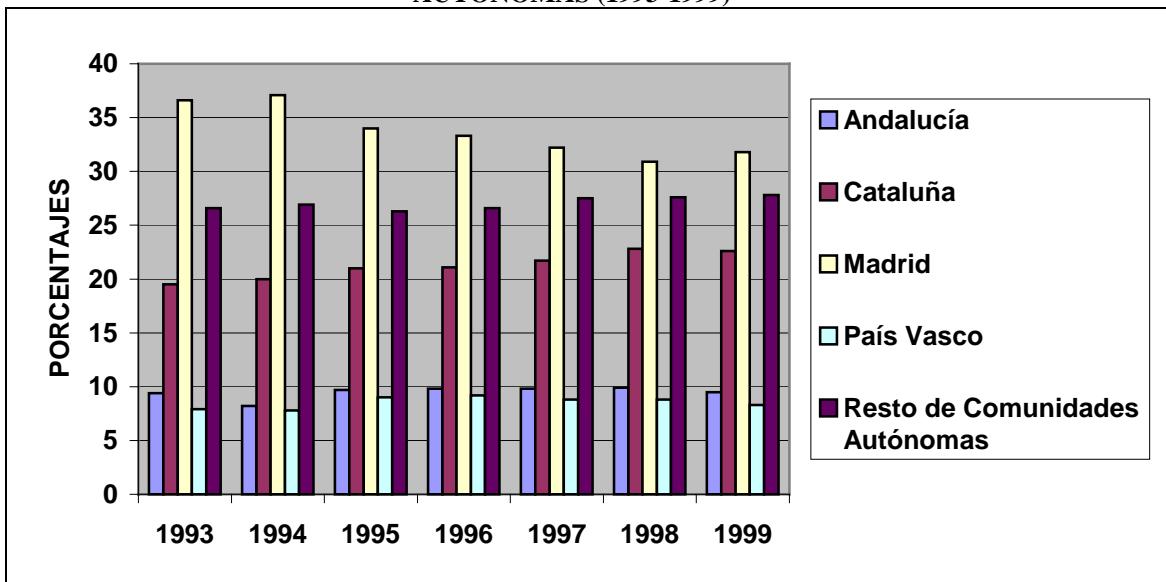
No queremos terminar nuestro pequeño repaso por los principales indicadores del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Industria sin hacer algunas consideraciones en torno a las diferencias entre las distintas Comunidades Autónomas, en cuanto al porcentaje de gasto en I+D que realizan, y en cuanto al porcentaje del Valor Añadido Bruto (VAB) sobre el coste de los factores.

A continuación presentaremos un gráfico sobre la distribución porcentual del gasto en Investigación y Desarrollo efectuado de 1993 a 1999 por las Comunidades Autónomas. La presentación que hacemos de los datos (en los que tan sólo aparecen con especificidad propia las Comunidades Autónomas de Andalucía, Cataluña, Madrid, y País Vaco) obedece al gran peso que estas Comunidades tienen en el conjunto del gasto en I+D español.²¹⁸ Dicha agrupación nos permite también ver mejor la gran concentración geográfica en la distribución de este gasto, y la pequeña evolución que se ha dado en vistas a diversificar el mismo entre las distintas Comunidades Autónomas²¹⁹.

²¹⁸ Como ya señalaban Luis Sanz y Clara E. García: “la distribución de los recursos en ciencia y tecnología en España se caracteriza por un gran desequilibrio, mayor que el existente entre los niveles de renta per cápita de las diversas regiones.” (Sanz y García, 1992: 2).

²¹⁹ Una de las razones por las que la diversificación regional de la I+D en España sigue siendo pequeña es que las políticas científicas españolas se han concentrado en la reducción de la distancia que nos separa en estas áreas de los países de nuestro entorno; olvidando en buena medida el potenciar el equilibrio del gasto en Investigación científica y Desarrollo tecnológico entre las distintas Comunidades Autónomas.

GRÁFICO 3.11.
DISTRIBUCIÓN DEL GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS (1993-1999)

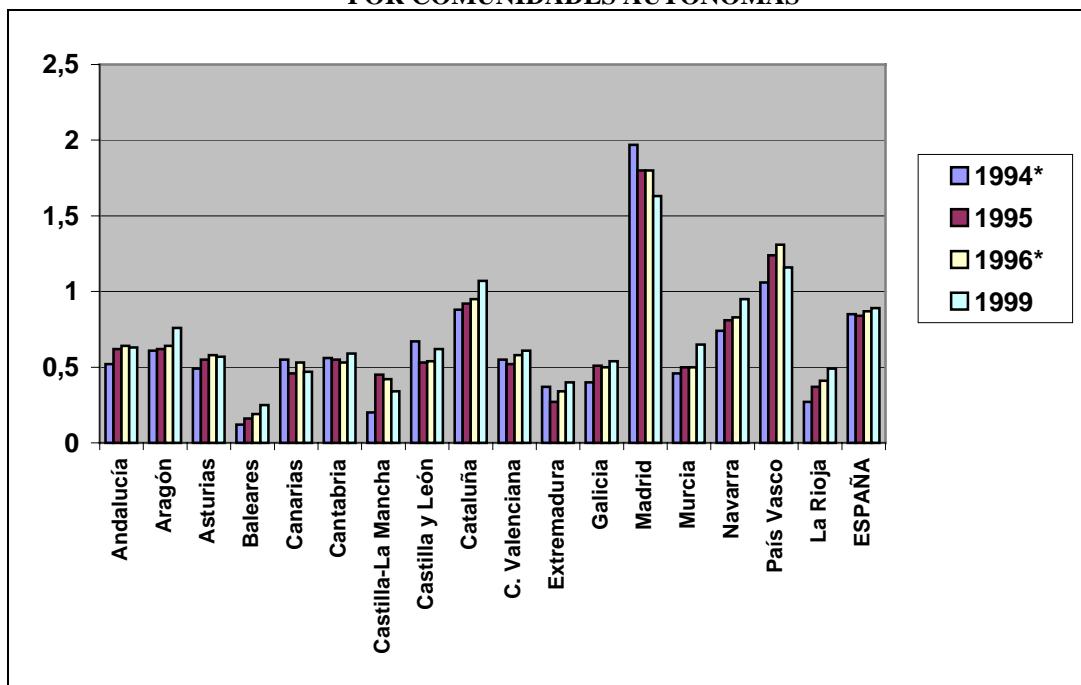


FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 23)

El gráfico muestra para todo el período una gran concentración territorial. De ello da buena cuenta que la Comunidad de Madrid y la de Cataluña representen más del 50% del gasto en I+D español, y que sólo estas dos Comunidades Autónomas, junto con Andalucía y País Vasco, sobrepasen un 5% de dicho gasto. En cuanto a la evolución se observa una disminución de la importancia de Madrid, aunque no excesiva; un aumento de la de Cataluña, aunque no mucha; una estabilidad en Andalucía y País Vasco, con ligeras subidas y bajadas; y un mantenimiento también del porcentaje que representa el resto de Comunidades Autónomas. En los seis años que contemplamos (1993-1999) no se observa una redistribución regional del gasto en I+D; antes bien al contrario, los porcentajes del inicio del período se mantienen similares a los del final del mismo.

En cuanto al porcentaje del gasto en I+D respecto al Valor Añadido Bruto (VAB) sobre el coste de los factores, los dos gráficos siguientes nos muestran su evolución para las distintas Comunidades Autónomas, y la diferencia de éstas con respecto a la media nacional, media que en el gráfico se sitúa en cero.

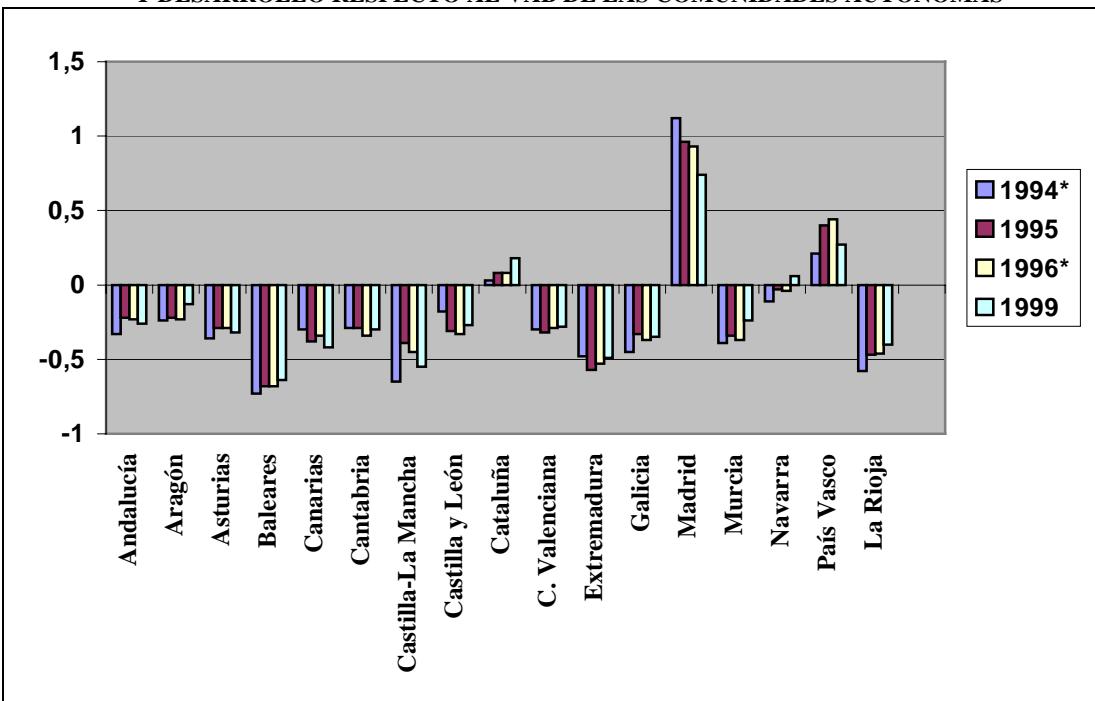
GRÁFICO 3.12.
PORCENTAJE DEL GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO RESPECTO AL VAB
POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 24)

El gráfico muestra una bajada importante de Madrid, aunque esta Comunidad Autónoma sigue teniendo los valores más altos; una subida constante y moderada de Cataluña; una gran subida, aunque con bajada en el último período del País Vasco; Navarra aumenta su valor situándose próxima al uno; Baleares sigue siendo la Comunidad con el nivel más bajo. El resto de Comunidades Autónomas se sitúan sobre el 0,5 y hay poca variación en su comportamiento evolutivo, como tampoco la hay en el conjunto de España. Pero veamos como se comportan dichas Comunidades Autónomas en su comparación con la media nacional.

GRÁFICO 3.13.
**COMPARACIÓN CON LA MEDIA NACIONAL DEL PORCENTAJE DEL GASTO EN INVESTIGACIÓN
 Y DESARROLLO RESPECTO AL VAB DE LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 24)

* Estimaciones

El gráfico muestra como es la Comunidad de Madrid, pese a su disminución, la que sigue teniendo el porcentaje de gasto en I+D respecto al VAB más alto, situándose muy por encima del resto de Comunidades y de la media nacional (que está aquí en el punto cero); el País vasco muestra un gran crecimiento en los tres primeros años, pero al final del período sufre una gran bajada; Cataluña crece algo, aunque constantemente; y Navarra se sitúa por primera vez por encima de la media nacional en 1999. El resto de Comunidades Autónomas no alcanzan dicha media; siendo Baleares, Castilla la Mancha y Extremadura las que se hallan más alejadas de la misma. El resto de Comunidades, aunque se acercan más que las anteriores, aún están distanciadas de la media nacional.

Los datos comentados nos permiten concluir que pese a la disminución de la importancia de la comunidad de Madrid en I+D, tanto en su gasto como si conceptuamos éste respecto al VAB, no se está dando una convergencia de las distintas Comunidades Autónomas

en materia de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. Sigue habiendo, por tanto, una gran concentración territorial, sobre todo en Madrid, Cataluña y País Vasco, de éstas.

6.11. Comparación internacional de indicadores del Sistema de Ciencia-Tecnología Empresa (1999)²²⁰

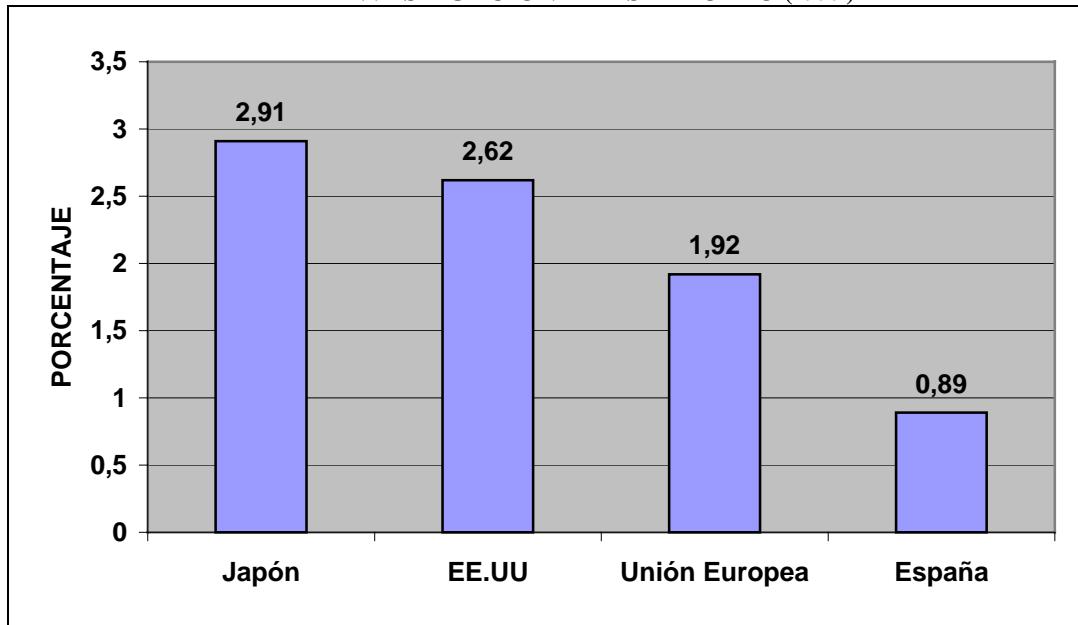
En este apartado se volverán a ver algunos de los indicadores sobre I+D que vimos anteriormente, pero en su dimensión internacional. Esto nos permitirá comparar la situación española en estas materias con otros países, o áreas geográficas territoriales (como la Unión Europea) que nos sirven de marco de referencia. En concreto, los indicadores que comentaremos serán: el porcentaje del PIB dedicado a la I+D, el tanto por mil de investigadores sobre población activa, y las publicaciones científicas y patentes por millón de habitantes.

6.11.1. Comparación internacional del porcentaje del PIB español dedicado a la Investigación y Desarrollo (1999)

Este es uno de los indicadores más utilizados, como ya dijimos en su momento, para medir el esfuerzo que realiza un país en promocionar la I+D. Pero veamos en el siguiente diagrama de barras como se comportó nuestro país con relación a Japón, Estados Unidos y la Unión Europea. Es decir, veamos cual fue su posición respecto a los principales actores mundiales en estas áreas.

²²⁰ Los indicadores que veremos en el apartado están extraídos de Rosa Sancho: “Directrices de la OCDE para la obtención de indicadores de Ciencia y Tecnología”. En <http://www.ricyt.edu.ar/rsanchost.ppt>, 2000.

GRÁFICO 3.14.
COMPARACIÓN INTERNACIONAL DEL PORCENTAJE DEL PIB ESPAÑOL DEDICADO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (1999)



FUENTE: Sancho (2000: 12)

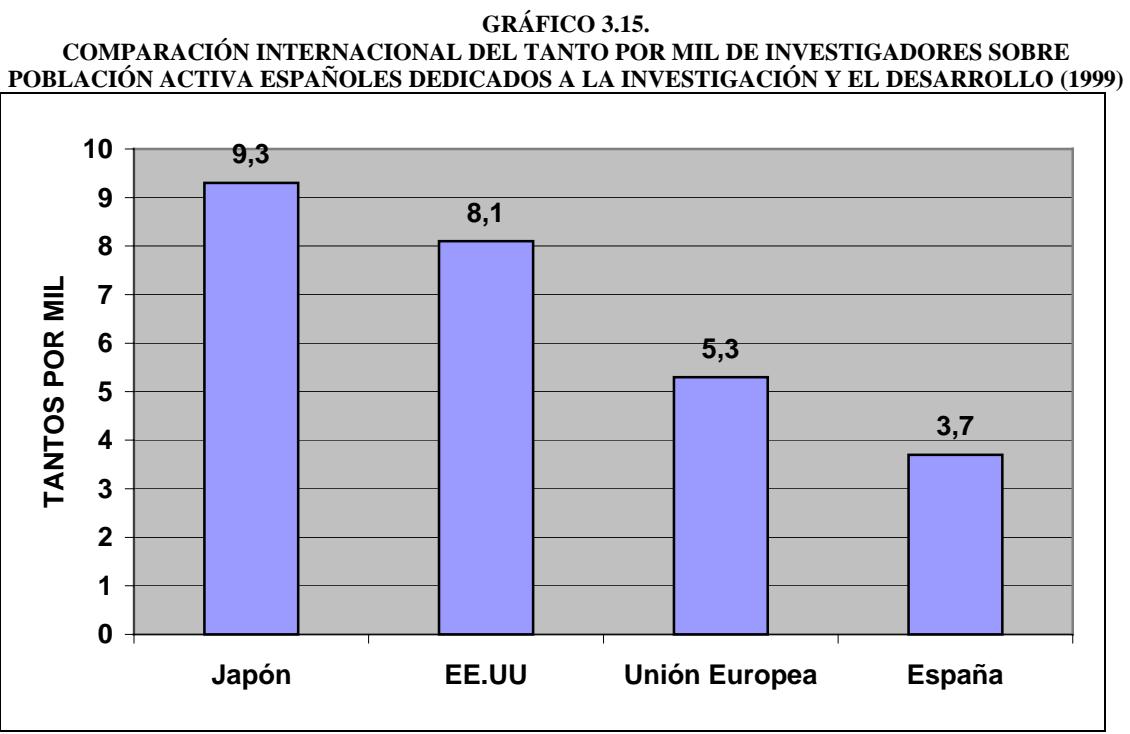
El gráfico muestra como España, con el 0,89%, se situó en 1999 en un porcentaje muy inferior de porcentaje de PIB destinado a la I+D, y ello en comparación los países y áreas geográficas que le sirven de referencia. Éste que de por sí ya es un mal resultado, es peor al tener en cuenta que el PIB de estos países es mayor que el español. Todo ello viene a dar como resultado que la diferencia, en estas áreas tan importantes para el desarrollo de un país, en vez de decrecer aumentan, y lo hacen considerablemente. En último término esto se traduce en que la distancia tecnológica de nuestro país con respecto a estos países y áreas geográficas, las más desarrolladas e industrializadas del planeta, se hace más grande. Esto supone nuestra dependencia de los *inputs* tecnológicos creados fuera de nuestras fronteras, dependencia que se traduce en mayor déficit de la balanza tecnológica debido a la importación de tecnologías; o lo que es más grave perdida de mercados, principalmente los emergentes que necesitan de mucha innovación tecnológica, pero que a cambio tienen un alto valor añadido, aunque también de los tradicionales con componentes tecnológicos que inciden en su productividad y eficacia. Esta situación puede llevar, en último extremo, a que el sector productivo español no entre, debido a las barreras tecnológicas de entrada (elevados costes de pagos en la adquisición de equipos,

pagos de regalías por licencias, dependencia del *how know* producido en otros países), en los mercados emergentes, e incluso a la desaparición de productores tradicionales por obsolescencia tecnológica en áreas productivas sometidas a una de creciente competitividad global. En una palabra, el coste de oportunidad de tener un porcentaje de inversión en I+D sobre el PIB bajo (cuando éste ya de por sí es menor que el de países y áreas geográficas con las que ya competimos comercialmente) es lo suficientemente importante, por las razones apuntadas más arriba, como para no realizar un esfuerzo en Investigación y Desarrollo que nos permita equipararnos, por lo menos en gasto de PIB efectuado, a los países con los cuales queremos compararnos. Lamentablemente, los datos apuntados no muestran que se esté realizando tal esfuerzo²²¹.

6.11.2. Comparación internacional del tanto por mil de investigadores españoles sobre población activa dedicados a la Investigación y el Desarrollo (1999)

A continuación se pasarán a comentar otros de los indicadores clásicos de la I+D, y lo haremos viendo sus resultados para los países y áreas geográficas que comentamos ya anteriormente, y para España. Esto nos permitirá conocer mejor donde se sitúa nuestro país con relación a los países y áreas geográficas punteras en cuanto a su volumen en investigadores dedicados a la I+D.

²²¹ Bástenos decir al respecto que en 1999 el gasto en I+D sobre el Producto Interior Bruto realizado en nuestro país, fue dos décimas inferior que el realizado en 1992.



FUENTE: Sancho (2000: 13)

El gráfico muestra que España todavía se halla lejos en porcentaje de investigadores sobre población activa, y ello con relación a los países y las áreas geográficas que le sirven de marco de referencia. La diferencia se establece, sobre todo, con relación a Japón y a Estados Unidos de Norteamérica, pero también, y aunque en menor medida, con la media considerada de la Unión Europea²²².

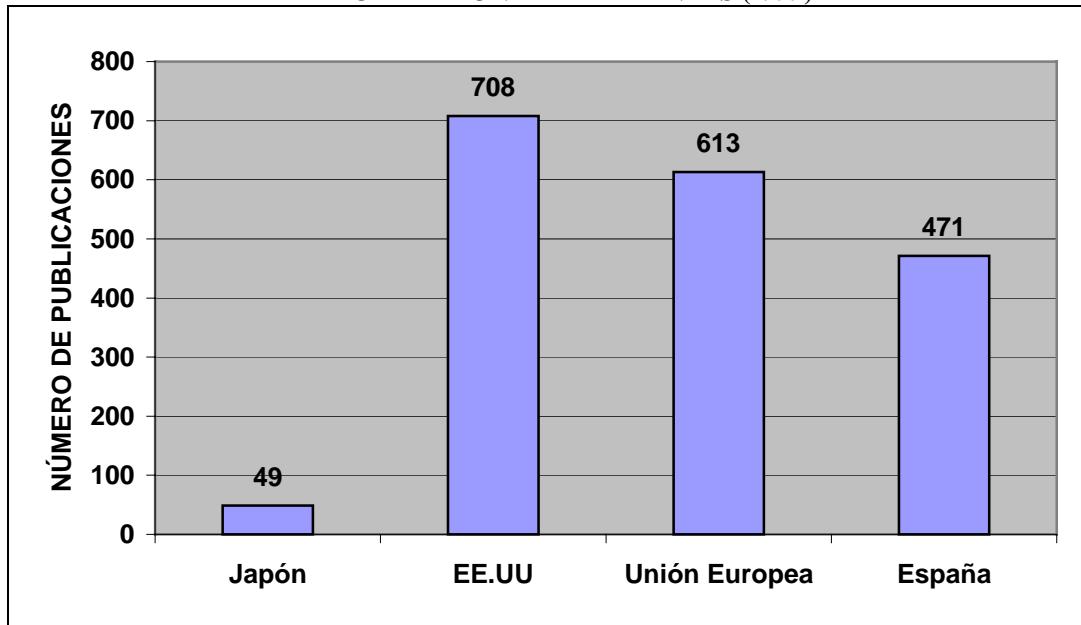
6.11.3. Comparación internacional de las publicaciones científicas españolas por millón de habitantes (1999)

Es este un indicador ya clásico para medir los resultados de un Sistema de Ciencia-Tecnología-Empresa en su componente científico. Y aunque no nos diga nada acerca del peso real del país en cuanto a calidad científica se refiere, sí nos dice acerca del volumen de

²²² Como ya vimos en otro lugar, en concreto en el apartado 6.7 de este capítulo, ha habido cierta evolución y avance en nuestro país en este indicador; aunque no suficiente dado que nuestro porcentaje en nivel de investigadores es claramente menor al de los países y áreas geográficas que nos sirven de referencia.

publicaciones a igualdad de población. Ello nos da una cierta idea de la importancia del componente científico de distintos países o áreas geográficas.

**GRÁFICO 3.16
COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE LAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ESPAÑOLAS
POR MILLÓN DE HABITANTES (1999)**



FUENTE: Sancho (2000: 14)

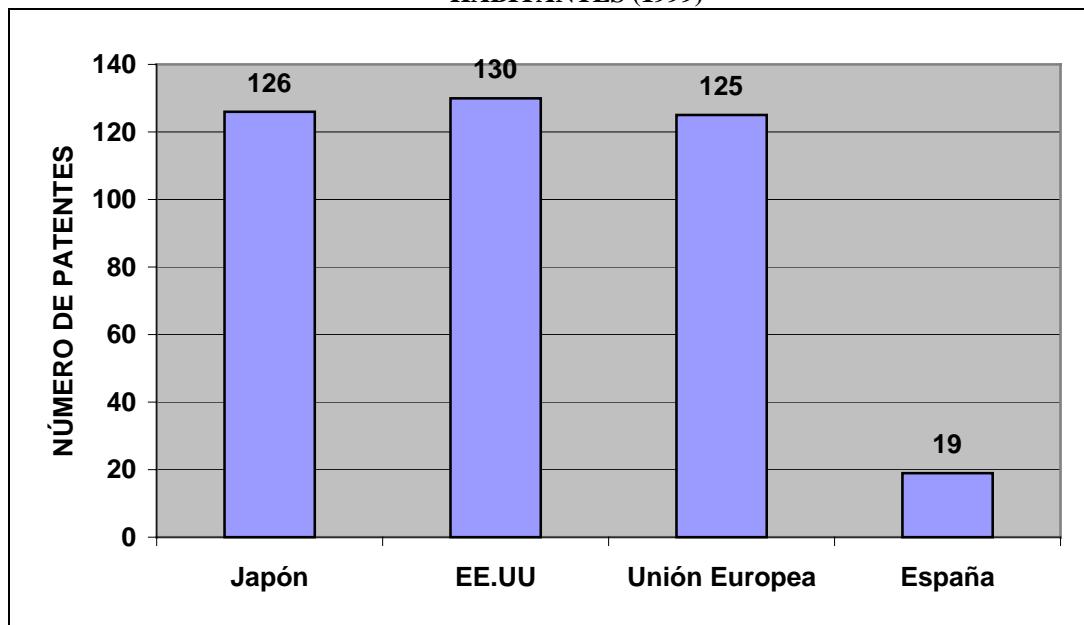
El gráfico muestra que España se sitúa en un buen nivel en este indicador, por debajo de Estados Unidos y de la Unión Europea, pero muy por encima de Japón. Sin embargo, y como ya dijimos en el apartado 6.9.1 de este capítulo, la producción científica española en el conjunto mundial es pequeña. Hay que destacar que en este apartado el desequilibrio de nuestro país respecto al de los otros países y áreas geográficas es menor que en el resto de indicadores considerados.

6.11.4. Comparación internacional de las patentes españolas por millón de habitantes (1999)

Es este otro indicador que aunque no nos diga nada acerca de la importancia de nuestro país en el global de patentes solicitadas (de ello ya dijimos algo el apartado 6.9.2 de este capítulo, al menos en cuanto a las solicitadas en nuestro país por residentes y no residentes), sí,

por lo menos, nos muestra ante poblaciones semejantes el número de patentes que producen distintos países, o áreas geográficas.

**GRÁFICO 3.17.
COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE LAS PATENTES ESPAÑOLAS POR MILLÓN DE HABITANTES (1999)**



FUENTE: Sancho (2000: 15)

El gráfico muestra como Japón, Estados Unidos y la Unión Europea se muestran en este indicador en cantidades semejantes. Sin embargo, España dista mucho de alcanzar a ninguno de ellos. Ya vimos en su momento el mal comportamiento que el Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa en cuanto al volumen de patentes que llega a alcanzar. Esto no deja de ser preocupante, dado que las patentes se configuran como el sistema de propiedad industrial que permite el monopolio temporal de una tecnología, proceso o producto; monopolio que según la patente puede suponer muchos beneficios tanto económicos, en cobros de regalías por licencias, por ejemplo, como de control de competidores sobre la base del control del uso de la tecnología a través de la patente obtenida.

CAPÍTULO CUARTO

LA BIOTECNOLOGÍA EN ESPAÑA

1. Introducción

En este capítulo hablaremos, en primer lugar, de la estructura pública de la biotecnología en España, situándonos concretamente en la que se desarrolla dentro del Sistema Español de Ciencia-Tecnología-Empresa. Esto nos permitirá medir la importancia relativa que se le concede a ésta dentro del Sistema Público de Investigación y Desarrollo. Para ello, empezaremos hablando de su presencia en el cuarto Programa Nacional de I+D+I (2000-2003); y veremos, todo ello para el ejercicio de 1999, los fondos destinados al Programa de Biotecnología, la presencia de ésta en el Eje de Actividad Proyectos, su cofinanciación con los proyectos de la UE del V Programa Marco, y otras financiaciones que obtuvo.

En segundo lugar mostraremos los Centros Públicos de Investigación (CPI) españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997²²³. De los mismos veremos como se distribuyen: geográficamente, sectorialmente, por número y tipo de empleados, por origen de las Agencias financieras, y por las principales tecnologías que usan.

En tercer lugar, describiremos la estructura privada de la biotecnología en España. En este sentido, iniciaremos nuestra descripción haciendo algunas consideraciones en torno al

²²³ Son Centros que aparecen mencionados en Armando Albert: *Spanish research groups & enterprises working in biotechnology 1997*, Ed. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Madrid, 1998. Estos Centros fueron seleccionados y financiados, en algún momento del período 1992-1997, por los Programas nacionales de biotecnología referidos a áreas de ciencia básica (especialmente biología molecular y celular, biología estructural), o por los Programas biotecnológicos de la Unión Europea (tercer y cuarto Programa Marco). Podemos considerar que estos CPI investigan y/o usan mayoritariamente la biotecnología en su trabajo; consideración que extraemos de las principales tecnologías usadas por ellos.

procedimiento y fuentes consultadas en la obtención de los datos que conforman esta sección²²⁴.

Después nos detendremos en algunos indicadores generales sobre las empresas biotecnológicas²²⁵ españolas que corresponden al año 1997. Dichos indicadores se refieren a la distribución: geográfica, sectorial, por antigüedad, por tamaño de facturación, por número de empleados de aquéllas, por distribución por países de las compañías matrices de empresas biotecnológicas españolas, y de las empresas relacionadas con la biotecnología sin sede en España que distribuyen sus productos a través de empresas con sede en nuestro país.

En cuarto lugar, veremos algunos de los indicadores sobre las empresas biotecnológicas innovadoras²²⁶. De éstos comentaremos los referidos a la distribución geográfica y sectorial de las propias empresas innovadoras; así como de las Agencias financieras. Por último señalaremos las principales tecnologías usadas por aquellas.

En quinto lugar, haremos una breve análisis sobre el comportamiento de la industria española ante la biotecnología.

²²⁴ Decir, por el momento, que la labor de recogida de datos fue larga y difícil, y que sólo fue posible a través del contacto personal con las fuentes primarias que proporcionaron los datos.

²²⁵ Entendemos por empresas biotecnológicas todas aquellas que utilizan en sus procesos de producción técnicas biotecnológicas; y ello independientemente de que las mismas sean tradicionales o se correspondan a las nuevas tecnologías de la vida. Nuestra intención inicial era la de recoger aquellas empresas que se dedican o utilizan las nuevas biotecnologías. Esto no ha sido posible debido a que las fuentes disponibles, y que hemos utilizado, no distinguen entre unas y otras. Creemos que las empresas que hemos incluido en el apartado de innovadoras son las que en mayor medida podemos considerar como biotecnológicas, en el sentido de que utilizan las nuevas biotecnologías en su producción. que utilizan las nuevas tecnologías de la vida. Sin embargo, las empresas que producían productos provenientes de esta área de conocimiento en España no pasaban en la fecha considerada de una veintena; y ello según datos de la consultoría Ernst and Young, datos presentados en su publicación anual: *European Biotech 98*.

²²⁶ Los datos incluidos en este apartado están extraídos de Armando Albert (ed.): *Spanish research groups & enterprises working in biotechnology 1997*, Ed. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Madrid, 1998. La base de datos original sobre las empresas aquí mencionadas fue extraída de: los Programas Nacionales de Biotecnología, de la base de datos del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), y de otros Programas Sectoriales del Ministerio de Industria y Energía. Además a principios de 1997 el grupo de investigación dirigido por el profesor Armando Albert envió un cuestionario a las empresas que incluimos en este apartado. Muchas de estas empresas también fueron seleccionadas y financiadas, en algún momento del período 1992-1997, por Programas nacionales o por Programas del tercer o cuarto Programa Marco de la UE relacionados con la biotecnología.

El último apartado de este capítulo lo dedicaremos a comparar la estructura pública y privada de la biotecnología en España. En este sentido, se aportaran datos sobre la distribución sectorial y geográfica, tanto de los CPI como de las empresas biotecnológicas en el año 1997. Además, compararemos la distribución de las Agencias financieras y las principales tecnologías usadas por los CPI y las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología en el período 1992-1997.

En este capítulo sobre la biotecnología en España (como por otra parte también lo hicimos en el anterior que dedicamos al Sistema Español de Ciencia, Tecnología, Empresa) hemos optado por un tipo de evaluación *ex post*, es decir, basada en indicadores que hacen referencia a los resultados del Sistema. Existen otras formas de evaluar la I+D que aquí no hemos tenido en cuenta, pero que vale la pena señalar. En este sentido, Orlando Mirabal menciona las siguientes:

“1º.- Una aproximación que pudiera denominarse como macroeconómica, encaminada a propiciar criterios e indicadores para medir el impacto o la contribución de la ciencia y la tecnología en la competitividad y el crecimiento económico global.

2º.- Los intentos dirigidos a instrumentalizar procedimientos evaluativos cuyo propósito es fundamentalmente proporcionar elementos de juicio durante el proceso de asignación de recursos para las diversas actividades científicas (*peer review*).

3º.- Lo que se ha conocido como la valoración tecnológica (*Technology Assessment*), el cual enmarca los intentos por evaluar impactos totales de las nuevas tecnologías.” (Mirabal, 1994: 4).

2. La estructura pública de la biotecnología en España

Iniciaremos nuestro recorrido por la estructura pública de la biotecnología en España atendiendo a su presencia en las distintas áreas prioritarias del IV Programa Nacional de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación (2000-2003). Después analizaremos algunos indicadores sobre la I+D biotecnológica en el sector público español, atendiendo en este sentido, sobre todo, al Programa de Biotecnología del III Programa Nacional de I+D en su último año, 1999; y terminaremos esta sección con un apartado dedicado a los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología durante el período 1992-1997.

2.1. La biotecnología en el IV Programa Nacional de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación

La biotecnología se encuentra presente en el IV Plan Nacional de I+D+I en distintas áreas prioritarias. Así, el área de biomedicina en su objetivo de investigación, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías contiene apartados dedicados a la investigación genómica y sus consecuencias, y al desarrollo de modelos animales y celulares para el estudio de enfermedades humanas, donde las nuevas biotecnologías juegan un papel muy importante.

En el área prioritaria de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias la biotecnología juega su papel en objetivos, entre otros, como: Tecnologías genéticas para la mejora de especies agrícolas, forestales, ganaderas, acuícolas y microorganismos de uso agroalimenticio; Protección vegetal y prevención ante daños causados por agentes bióticos en cultivos agrícolas y masas forestales; sanidad y bienestar animal; calidad y seguridad alimenticia.

Con todo, es en el área de biotecnología donde se centra el mayor esfuerzo que el Plan realiza en esta área de conocimiento. Dentro de sus objetivos destacan los dedicados a: su

aplicación al análisis y diagnóstico, los organismos transgénicos, la ingeniería de procesos biotecnológicos, los que sientan las bases del desarrollo de la biotecnología, la genómica y la proteómica, y los destinados a su relación con la sociedad. Pero veamos con más detalle cada uno de ellos.

La biotecnología aplicada al análisis y diagnóstico, tanto en sanidad humana como animal, necesita desarrollar herramientas que permitan realizar estos cometidos, así como el seguimiento, de enfermedades humanas, entre otras, como el cáncer, cardiovasculares, neurovegetativas, SIDA; y enfermedades animales como la peste equina, la peste porcina africana, la *leishmaniosis*, o la *encefalitis espongiforme*. También son importantes: para el sector farmacéutico, los bioensayos; para el sector agroalimentario, la elaboración de métodos para identificar variedades y productos con denominación de origen; la detección rápida de contaminantes (sean éstos de origen microbiano, químico o biológico); la protección del medio ambiente, a través de herramientas que permitan detectar contaminantes que puedan constituir un riesgo para la salud humana o para los ecosistemas.

La biotecnología aplicada a los animales transgénicos se fundamenta en el hecho de que éstos pueden ser modelos para estudiar distintas enfermedades humanas y que, además, son fuentes potenciales de tejidos u órganos para transplantes. Tampoco hay que olvidar que los mismos podrán usarse, en un futuro más o menos próximo, como productores de sustancias valiosas para el hombre, y que el uso de la ingeniería genética junto con la clonación permitirá mejorar el rendimiento (de carne y leche, por ejemplo) que de ellos se extrae. La biotecnología aplicada a las plantas constituye otro apartado importante. Especialmente la dedicada al desarrollo de tecnologías de transformación genética en especies y variedades con interés agrícola; y el diseño de plantas transgénicas como factorías de producción de energía, de nuevas moléculas de interés alimenticio, industrial o terapéutico, y para ser utilizadas como detoxificadoras de suelos y aguas. Otro aspecto importante es la utilización de la biotecnología

en la obtención de microorganismos recombinantes, obtención que se liga más a desarrollos concretos que, como en el caso de animales y plantas, al diseño de herramientas de transformación. Por último, en este apartado, en el área prioritaria de biotecnología destacan las consideraciones de bioseguridad, poniendo su énfasis en el estudio de los posibles efectos de los organismos transgénicos o sus productos derivados sobre el medio ambiente.

La ingeniería de procesos biotecnológicos es otro aspecto destacado. En este apartado se incluyen las operaciones con bioreactores y se considera su optimización y desarrollo; así como el aumento de escala de los sistemas productivos basados en la fermentación de cultivos microbianos, o de células de plantas o de animales. Otros aspectos destacados son: la producción de inoculantes como bioplaguicidas, biofertilizantes o inductores de resistencia. En el sector de salud destacan: el diseño y producción de vacunas para enfermedades humanas o animales, el diseño nuevos vectores y sistemas celulares para la expresión de antígenos. En cuanto al sector medioambiental se destaca: favorecer el desarrollo de procesos de biodegradación y bioremediación orientados a la mejora la calidad de los ecosistemas.

En las bases para el desarrollo de la biotecnología se destacan: el aumento del conocimiento de las relaciones estructurales, de los mecanismos de regulación de la expresión génica en organismos celulares y pluricelulares, y el desarrollo de programas informáticos más potentes y precisos en esta área.

Por último, en la genómica y proteómica se abarcan los componentes estructurales y funcionales, de la primera, y la proteómica. En cada una de estas áreas se pretenden aplicaciones concretas que, por ejemplo, desarrollen: nuevos sistemas de diagnóstico genético de enfermedades humanas o animales; o métodos rápidos de identificación y tipificación genotípica de organismos, o mejoren genéticamente organismos mediante selección asistida por marcadores moleculares.

En biotecnología y sociedad se destacan los aspectos: socioeconómicos, de percepción pública, y las cuestiones normativas y éticas.

Por último, en cuanto a los Centros de Competencia en esta área prioritaria, se propone la creación de: “Unidades de apoyo al desarrollo de la Genómica y Proteómica (de secuenciación de DNA, de bioinformática, de proteómica, de DNA micrarrays y DNA chips); unidades de apoyo al desarrollo de la tecnología transgénica en animales (de generación, diagnóstico y mantenimiento de ratones transgénicos, de transgénesis y clonación de animales de interés ganadero, de modificación genética de peces); un Observatorio Nacional de Biotecnología y unos centros distribuidos en red en los ámbitos de investigación Genómica, Proteómica y Biotecnología Vegetal” (CICYT, 2000: 34).

2.2. Algunos indicadores sobre la Investigación y el Desarrollo biotecnológico del sector público español en 1999²²⁷

En este apartado veremos algunos de los indicadores más utilizados para medir la importancia que los Sistemas Nacionales de I+D conceden a las diferentes áreas de conocimiento; y en concreto la importancia que el nuestro da a la biotecnología; y ello comparando a ésta, en algunos de los más importantes, con otras ciencias y tecnologías. En primer lugar, mostraremos los fondos destinados al Programa de Biotecnología por el III Plan Nacional de I+D en 1999, y los comparemos con los destinados a otros Programas; en segundo lugar, describiremos el comportamiento de este Programa con relación al eje de Actividad Proyectos; en tercer lugar, trataremos de la cofinanciación del Plan Nacional de I+D a proyectos del V Programa Marco de la UE, centrándonos en comparar los resultados obtenidos por el Programa Biotecnología con los obtenidos por otros Programas

²²⁷ Recordemos que este fue el último año en que estuvo en vigor el III Plan Nacional de I+D (1996-1999). El que nos hayamos decidido por analizar los datos de este año se debe a que en el momento de escribir estas páginas era el último para el que se había publicado su Memoria de Actividades. Véase al respecto Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología: Memoria de Actividades de I+D+I, año 1999, Ed. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Madrid, 2001.

2.2.1. Fondos destinados al Programa de Biotecnología por el III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en 1999

El Fondo Nacional para el Plan Nacional de I+D fue en 1999 de 24.020.400 millones de pesetas, apenas si superior en 761 millones de pesetas al del año 1996 (que fue de 23.259.000 millones de pesetas, lo que supone un aumento, apenas, del 3,27%). El Programa de Ciencias de la Vida y Agroalimentación, que es donde se encontraba situado el Programa de Biotecnología, recibió el 31,1% del Fondo (7.470.400 millones de Ptas.). La tabla que presentamos a continuación nos da cuenta del dinero destinado por el Fondo Nacional de Investigación y Desarrollo, y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) al Programa de Biotecnología en 1999, y su distribución por ejes de actividad.

TABLA 4.1.
**DISTRIBUCIÓN DE LOS FONDOS DESTINADOS AL PROGRAMA DE BIOTECNOLOGÍA POR EL III
 PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN 1999**

EJE DE ACTIVIDAD	FONDOS DESTINADOS AL PROGRAMA DE BIOTECNOLOGÍA
Proyectos* y acciones especiales ²²⁸	1.006.900.000
Proyectos FEDER ²²⁹	358.700.000
Proyectos concertados ²³⁰	285.000.000
Otros gastos	112.800.000
Formación de personal investigador ²³¹	195.816.000
TOTAL	1.959.216.000

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 64)

* Se incluyen aquí los compromisos de financiación de proyectos de años anteriores

En cuanto a los datos de la tabla, de ellos se desprende, en primer lugar, que el Programa de Biotecnología representó en 1999, con sus 1.959.216.000 millones Ptas. (lo que

²²⁸ Con el eje de actividad Proyectos de Investigación, el Plan Nacional de I+D aporta fondos a los Centros Públicos de Investigación, y a las Entidades de Investigación no Lucrativas a los que se les ha aprobado un proyecto. En la mayoría de los casos, tanto los proyectos como la financiación, tienen una duración de tres años, y la misma permite a estos Centros y Entidades: adquirir material inventariable y fungible, asistir a reuniones y congresos relacionados con su proyecto, tener fondos para otros gastos implicados en su ejecución. Dentro de este eje de actividad se incluyen los llamados Proyectos Integrados, cuyo objetivo es el desarrollo de productos o procesos de una gran envergadura y que integran, de ahí su denominación, diversas tecnologías. Esta clase de proyectos necesita para su desarrollo de la participación de diversos grupos de investigación de Centros Públicos y/o Entidades no Lucrativas, y empresas. Las Acciones Especiales se constituyen como acciones específicas y puntuales destinadas a complementar y apoyar la ejecución de los proyectos de investigación. Se trata de acciones tales como: la preparación de proyectos europeos, la participación u Organización de seminarios, reuniones de expertos, etc.

²²⁹ Estos son proyectos para el fomento de la I+D y la innovación cofinanciados a través de los fondos estructurales del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). La obtención de esta financiación no obedece, como en el caso de las solicitudes al Plan Nacional de I+D, a criterios estrictamente competitivos, sino que está condicionada a la ayuda al desarrollo. Otro rasgo característico de la financiación de proyectos FEDER es que en su evaluación, selección y elaboración de proyectos han participado las Comunidades Autónomas y organismos de sus ámbitos territoriales respectivos. Por último, aquí han tenido cabida programas no incluidos en el Plan Nacional de I+D como el de energía y construcción y obra civil.

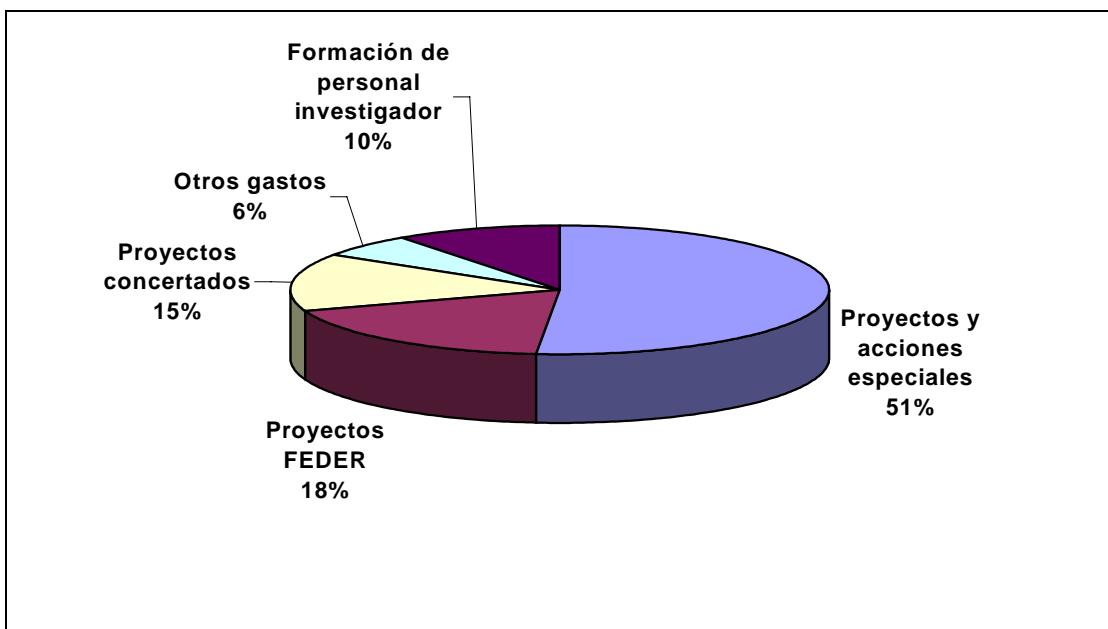
²³⁰ El eje de actividad Proyectos Concertados está destinado al fomento de las actividades de I+D en las empresas. Este fomento se realiza mediante la concesión de créditos sin interés destinados a la financiación parcial de proyectos de investigación empresariales que, dadas sus características, pueden ser enmarcados en los Programas del Plan Nacional. Con este eje de actividad se pretende articular de forma conveniente los intereses del Sistema Público de I+D con las necesidades de las empresas. La Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología encomendó la gestión del mismo al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial.

²³¹ En este apartado se incluyen las becas predoctorales en España (de éstas tendremos en cuenta las becas asociadas a proyectos de los programas nacionales), y las becas posdoctorales en el extranjero (de las cuales veremos las de perfeccionamiento de doctores y tecnólogos en el extranjero).

supuso un aumento del 34,15% con relación al ejercicio de 1996, donde el fondo destinado a la biotecnología fue de 1.460.465.005 millones Ptas.) el 8,15% del total del Fondo Nacional destinado, incluidos los Fondos FEDER, a la I+D; y el 26,22% del que se llevó el área científico técnica de Ciencias de Vida y Agroalimentación. Estos datos son una muestra significativa de la importancia que se concede a la biotecnología dentro del Fondo Nacional de I+D.

Pese a esta importancia, los recursos destinados al Programa de Biotecnología español quedan enormemente lejos de las expectativas que de ella se esperan y, incluso, de lo invertido por otros gobiernos, y por algunas empresas relacionadas con la biotecnología importantes. De esta forma: “The US government in 1987 had spent approximately \$ 2,7 billion to support research and development (R and D), including 150 million for agricultural biotechnology. The approximately sixty U.S. biotechnology companies invested \$ 3,2 billion in R & D in 1991 alone.” (Svatos, 1996: 113). Otro ejemplo: “Adventis, la nueva sociedad surgida de la fusión del grupo alemán Hoechst y el francés Rhône Poulenc que ocupa el segundo lugar en el sector farmacéutico y de productos químicos agrícolas internacional, justo detrás de la estadounidense Merck y que tiene el 4,6% del mercado en ambos subsectores (...) con un volumen de 2,9 billones de Ptas., dispone de 350.000 millones de Ptas. para destinarlos a investigación” (Martí, 1998), o en un dato más reciente: “El volumen de negocio que se estima mueve la biotecnología en el mundo es muy difícil de precisar debido a que no es sencillo delimitar sus fronteras. Sin embargo, los cálculos que se manejan en una reciente publicación de la UNESCO suponen que las ventas mundiales de productos derivados de la biotecnología alcanzarán entre 16 y 33 billones de pesetas en el año 2006. Se estima que el impacto de la bioindustria expresado como porcentaje del PIB supone un 25% en la UE y un 24% en USA.” (CICYT, 2000: 33). En cuanto a la distribución por ejes de actividad del Programa de Biotecnología el siguiente gráfico nos muestra cual fue la misma en 1999.

GRÁFICO 4.1.
DISTRIBUCIÓN DEL FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO POR EJES DE ACTIVIDAD (1999)



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 64, 109 y 112)

Como se distingue en el gráfico, fue el eje de actividad de Proyectos y acciones especiales el que, con mucho, recibió la mayor parte de la financiación del Fondo Nacional de I+D (51%); le siguieron en importancia los Proyectos FEDER (18%) y los Proyectos Concertados (15%). Por último, la Formación de Personal investigador (10%) y otros gastos (6%) fueron los ejes de actividad menos financiados. Vemos pues, como es a Proyectos donde se destina la mayor parte de los Fondos, como no podría ser de otra manera, y como los proyectos concertados, los más próximos a la empresa, se llevan un 15%, porcentaje igual al de 1996 (aunque en aquel ejercicio en dinero éstos recibieron 153.400.000 Ptas., y en 1999 se destinaron a él 285.000.000 Ptas.). Otro dato significativo, es que el eje de actividad Formación Personal Investigador, que en 1996 representaba el 28% del Programa de biotecnología, con 413.898.005 Ptas., se situó en 1999 tan sólo en el 10% (bajando, por tanto, 18 puntos), con 195.816.000 Ptas., o sea 218.082.005 Ptas. menos que en 1996. Esta bajada puede ser debida a que ya se han ido cubriendo las necesidades de personal cualificado en esta área y, por tanto, se necesita menos inversión en preparar nuevos investigadores, pero también, y en parte, puede

serlo porque en 1996 se contabilizaran aspectos del Programa de Formación de Personal Investigador que nosotros no hemos contabilizado para 1999²³². El resto de ejes de actividad no los podemos comparar con 1996, pues en aquel año o estaban unidos a otros conceptos contables o no aparecían, como es el caso de los Proyectos FEDER. Si la comparación la realizamos con la distribución del Fondo Nacional de I+D, nos encontramos con que respecto a éste el Programa de Biotecnología destinó: el 5,6% más en Proyectos de I+D y acciones especiales (51% frente al 45,4%), el 8,3% menos en Proyectos FEDER (18% frente al 26,3%), El 1,7% menos en Proyectos Concertados (el 15% frente al 16,7%), el 4,8% más en Formación de Personal Investigador (10% frente al 5,2%), y el 0,4% menos en Otros gastos (6% frente a 6,4%). Es precisamente en los Proyectos relacionados directamente con el desarrollo regional donde el programa biotecnología tiene la mayor pérdida, y en los Proyectos de Investigación, aunque también el Formación de Personal Investigador, donde tiene la mayor ganancia. Este dato ya hace suponer por sí sólo la existencia de una gran concentración territorial de los Centros que investigan en esta área, concentración que coincide con la ya señalada para el conjunto de la I+D española²³³. Por otro lado, que los Proyectos concertados, los más próximos a la empresa, se sitúen muy cerca del porcentaje del Fondo da buena cuenta del esfuerzo realizado, e incluso del interés comercial de esta área en nuestro país. Y no nos olvidemos, al respecto, de que para obtener un retorno de lo invertido en I+D+I, y la biotecnología no es una excepción, es importante tener en cuenta que: “la necesidad de que el proceso de innovación se desarrolle con el mercado desde sus inicios exige²³⁴ la interacción entre el sector privado y la actividad investigadora de los CPI, lo que refuerza la importancia global del sistema” (Modrego,

²³² Recordemos que los datos de 1996 estaban agregados y los de 1999 desagregados. Recordemos también que existen algunos apartados aquí que no hemos incluido al no mencionarse explícitamente de que se estaba hablando de formación en biotecnología.

²³³ Más adelante analizaremos con mayor profundidad esta concentración regional de los Centros de Investigación, pero también de las empresas, que están dentro del Sistema de Ciencia-Tecnología-Empresa en el área de la biotecnología.

²³⁴ El subrayado es nuestro.

1993: 1). Tampoco debemos olvidar que la biotecnología se sitúa en un tipo de investigación “estratégica”, o, en todo caso, “aplicada”²³⁵.

2.2.2. El Programa de Biotecnología en el Eje de Actividad Proyectos del III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en 1999

A continuación pasaremos a ver algunos datos sobre el eje de actividad Proyectos, centrándonos en la posición que ocupó el Programa de biotecnología en el mismo. Para ello procederemos a examinar el dinero concedido y solicitado, así como el número de proyectos concedidos y solicitados, a este Programa con relación al resto. También nos detendremos en cual fue la proporción entre financiaciones y números de proyectos concedidos respecto a los solicitados, comparando el Programa de biotecnología con los otros, así como la relación de éste con la media nacional y con el ejercicio de 1996, y ello también comparándolo con los demás Programas.

²³⁵ Estos términos resaltan la idea de proximidad entre la investigación básica y el desarrollo de áreas con gran potencial tecnológico. Respecto al carácter de investigación “estratégica” o “aplicada”, que se le supone a la biotecnología. Véase al respecto, AureliaModrego, op. cit., 1993, p. 9.

TABLA 4.2.
BALANCE DEL EJE DE ACTIVIDAD PROYECTOS DEL PROGRAMA NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (1999)

PROGRAMA	SOLICITADO		CONCEDIDO	
	NÚMERO	TOTAL	NÚMERO	TOTAL
1. Materiales	161	3.554.100.000	106	2.053.000.000
2. Tecnología de la información y las comunicaciones	177	3.276.100.000	109	1.276.800.000
3. Física de altas energías	23	1.985.000.000	23	1.258.400.000
4. Salud	156	3.215.400.000	83	1.253.800.000
5. Biotecnología	113	2.250.100.000	60	970.600.000
6. I+D agrario	123	1.931.400.000	70	686.100.000
7. Tecnologías avanzadas de la producción	110	1.968.600.000	66	603.800.000
8. I+D en medio ambiente	151	2.679.000.000	76	558.900.000
9. Tecnología de alimentos	100	1.756.700.000	41	513.800.000
10. Ciencia y tecnología marinas	66	1.010.700.000	34	327.100.000
11. Estudios sociales y económicos	153	1.215.700.000	58	267.700.000
12. Aplicaciones y servicios telemáticos	79	1.386.400.000	26	265.000.000
13. Recursos hídricos	33	581.100.000	22	222.200.000
14. Tecnología de procesos químicos	27	544.600.000	18	201.500.000
15. Transportes	43	795.600.000	19	198.200.000
16. Investigación espacial	23	423.700.000	10	162.900.000
17. I+D sobre el clima	24	362.500.000	15	84.500.000
18. Investigación en la Antártida	14	451.500.000	5	82.800.000
TOTAL	1.576	27.403.200.000	841	10.987.100.000

FUENTE: CICYT (2001: 67)

Los datos que aparecen en la tabla anterior han sido ordenados con relación a la cantidad de dinero concedida a cada Programa. Es decir, los Programas que obtuvieron una mayor financiación (independientemente del número de proyectos o dinero solicitados, y de los proyectos concedidos) preceden siempre a los que tuvieron una menor financiación.

El Programa de Biotecnología ocupó en 1999, en cuanto a la financiación concedida (970.600.000 Ptas.), el quinto lugar (superado por los Programas de: Materiales, Tecnología de la información y las comunicaciones, Física de altas energías y Salud). Este lugar, sin duda, hubiese sido superior si a la cantidad de dinero de este Programa añadiéramos, dado el carácter horizontal que posee la biotecnología, financiaciones de otros Programas (como los de: Salud, Tecnología de los Alimentos, I+D agrario, e I+D en medio ambiente) que destinaron recursos a investigaciones con un gran componente biotecnológico. En cuanto a la financiación solicitada (2.250.100.000 Ptas.) ocupó también el quinto lugar (superada por los Programas de:

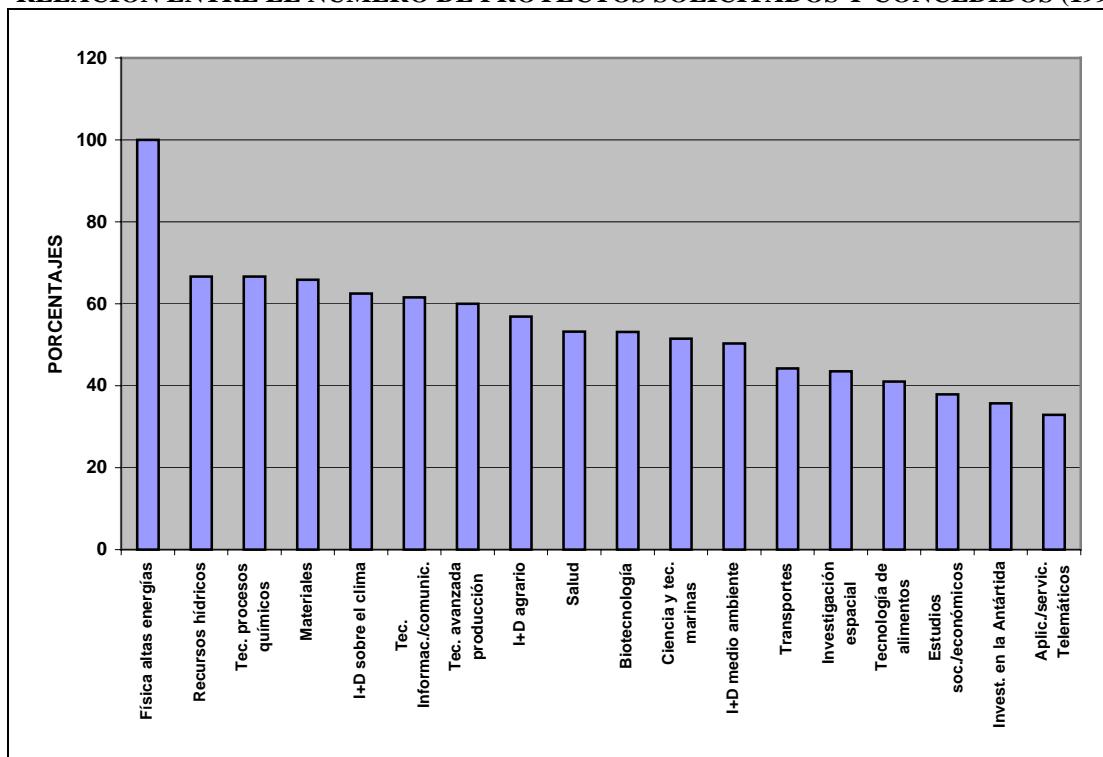
Materiales, Tecnologías de la información y las comunicaciones, Salud, e I+D en medio ambiente). Con relación al número de proyectos concedidos (60) el Programa de Biotecnología ocupó el sexto lugar (precedida en este aspecto por los Programas de: Tecnologías de la información y las comunicaciones, Materiales, Salud, I+D en medio ambiente, y I+D agrario). Respecto al número de Proyectos solicitados ocupó el séptimo lugar (se sitúo después de los Programas de: Tecnologías de la información y las comunicaciones, Materiales, Salud, Estudios Sociales y Económicos, I+D en medio ambiente, e I+D agrario).

Decir también que a la contratación de personal se destinaron en este Programa 176 millones de Ptas. Lo que equivalió a 2.933.000 Ptas. por proyecto. Por otra parte, el área de agroalimentación fue la que obtuvo una mayor representación en este Programa con 18 proyectos aprobados, y una financiación de 302 millones de pesetas. En ella destacaron, entre otros: los proyectos sobre modificación genética de la tolerancia al estrés en girasol, el estudio de la respuesta al estrés abiótico en castaño, la modificación genética de componentes del aroma en tomate, la evaluación y desarrollo de nuevas estrategias de control de virus en plantas. El área de salud humana y animal, ocupó el segundo lugar del Programa de Biotecnología en importancia; con 17 proyectos y 248,8 millones de Ptas., destacando en ella proyectos como: el diagnóstico y caracterización genética de cepas de virus de la Hepatitis A, la construcción de vectores de expresión y de cepas vacúnales de distintos patógenos, las aplicaciones biotecnológicas para el control de la fiebre aftosa. El área de procesos biotecnológicos ocupó el tercer lugar con 16 proyectos y 257,5 millones de Ptas., en él destacaron los proyectos dedicados al: estudio de los procesos de ingeniería metabólica para la obtención de moléculas de interés industrial, tales como, entre otros, el taxol, aldolasas, antibióticos o péptidos con propiedades de reconocimiento molecular. En cuarto lugar se sitúo el área de investigación genómica, que tuvo 5 proyectos y una financiación de 82,3 millones de Ptas., y en el que se aprobaron proyectos destinados al desarrollo de herramientas para el análisis funcional de genomas vegetales y el reconocimiento de regiones funcionales de ADN. El último lugar fue

ocupado por el medio ambiente con 5 proyectos que importaron 44 millones de Ptas., y que se dirigieron al desarrollo de métodos de diagnóstico de respuesta de la comunidad nitrificante a: variaciones ambientales, la mejora de la bioseguridad de inoculantes microbianos y la recuperación selectiva de metales pesados mediante hongos acidófilos.

A continuación pasaremos a examinar una serie de relaciones proporcionales (relación entre el número de proyectos solicitados y concedidos, relación entre la financiación solicitada y concedida), comparando las mismas con el resto de Programas, la media nacional, y el ejercicio de 1996. Ello nos permitirá decir algunas cosas más sobre la importancia de la biotecnología dentro del Plan Nacional de I+D. Para empezar, el gráfico siguiente nos ilustrará sobre la relación entre el número de proyectos solicitados y concedidos en 1999. Es decir, el porcentaje que representaron los proyectos concedidos con relación a los solicitados.

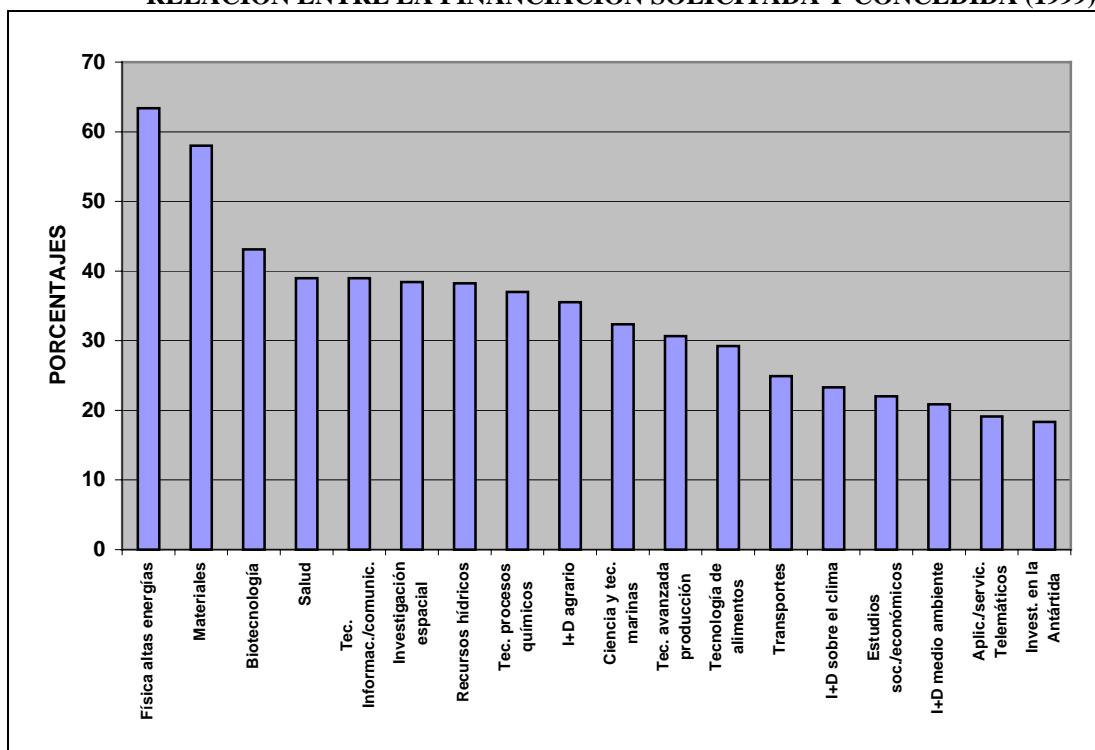
**GRÁFICO 4.2.
RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE PROYECTOS SOLICITADOS Y CONCEDIDOS (1999)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 67)

El gráfico nos muestra que el Programa de biotecnología (en el que fueron aprobados el 53,09% de los proyectos solicitados) ocupó el décimo lugar en el éxito de aprobación de proyectos; siendo superado por los Programas de Física de altas energías, Recursos Hídricos, Tecnología de procesos químicos, Materiales, I+D sobre el clima, Tecnologías de la información y la comunicación, Tecnologías avanzadas de la producción, I+D agrario, y salud. Respecto a la relación entre la financiación solicitada y concedida, el siguiente gráfico nos ilustra la misma para el ejercicio de 1999.

**GRÁFICO 4.3.
RELACIÓN ENTRE LA FINANCIACIÓN SOLICITADA Y CONCEDIDA (1999)**

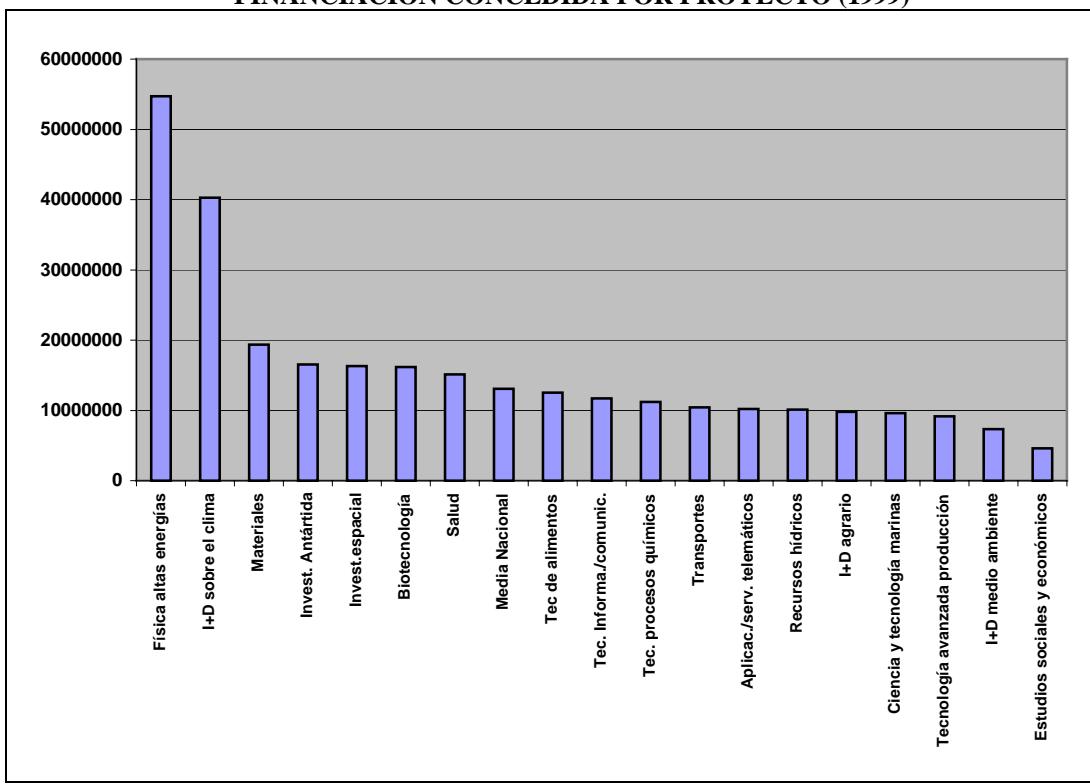


FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 67)

El programa de Biotecnología ocupó el tercer lugar, con su 43,13%, en cuanto al éxito obtenido en la relación de fondos solicitados y concedidos, tan sólo superado por los Programas de Física de altas energías y Materiales; y está próximo, aunque sus resultados son mejores, de cuatro a cinco puntos, a los Programas de Salud, Tecnología de la información y las comunicaciones, Investigación espacial y Recursos hídricos.

Con relación a los fondos recibidos por proyecto en cada Programa, el siguiente gráfico nos ilustra los resultados que se obtuvieron en 1999. En el mismo veremos como la biotecnología con sus 16.176.666 Ptas. por proyecto concedido ocupó el sexto lugar. Siendo superada en financiación por proyecto por los Programas de Física de altas energías, I+D sobre el clima, Materiales, Investigación en la Antártida, e Investigación espacial, aunque realmente muy cerca de estos dos últimos.

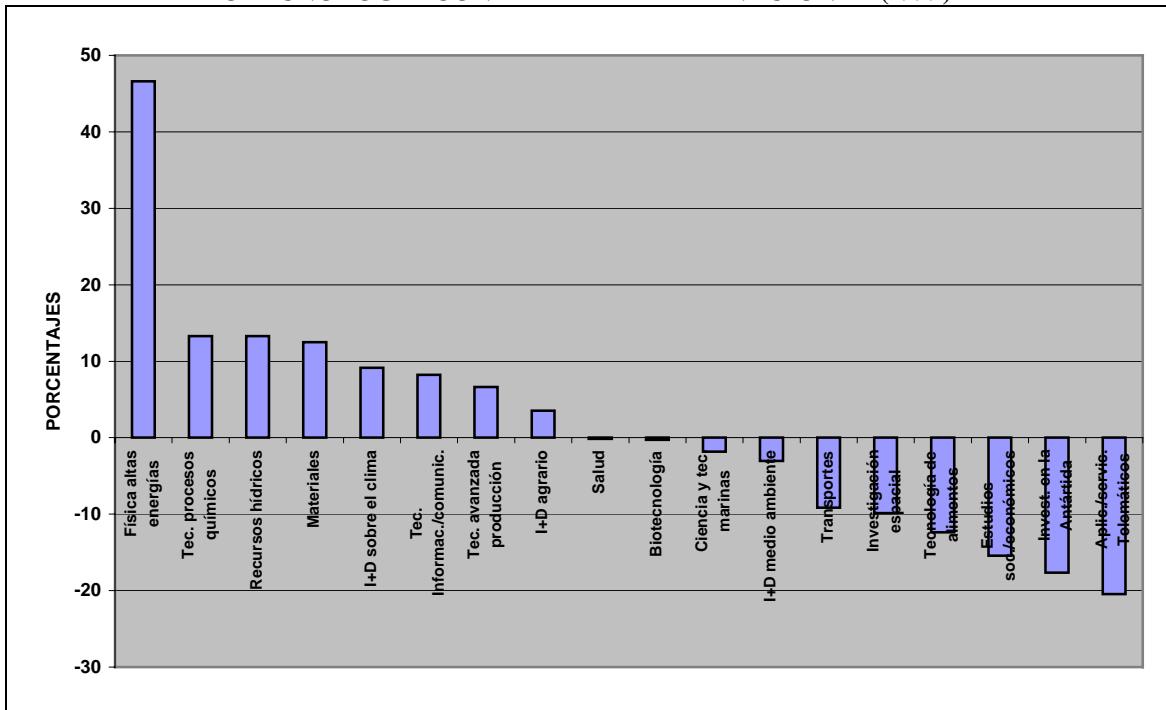
**GRÁFICO 4.4.
FINANCIACIÓN CONCEDIDA POR PROYECTO (1999)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 67)

El gráfico que incluimos a continuación nos muestra el comportamiento del Programa que estamos comentando, en cuanto a éxito de proyectos concedidos, con relación al obtenido por la media nacional representada por el conjunto de Programas, y que aquí tiene el valor de cero.

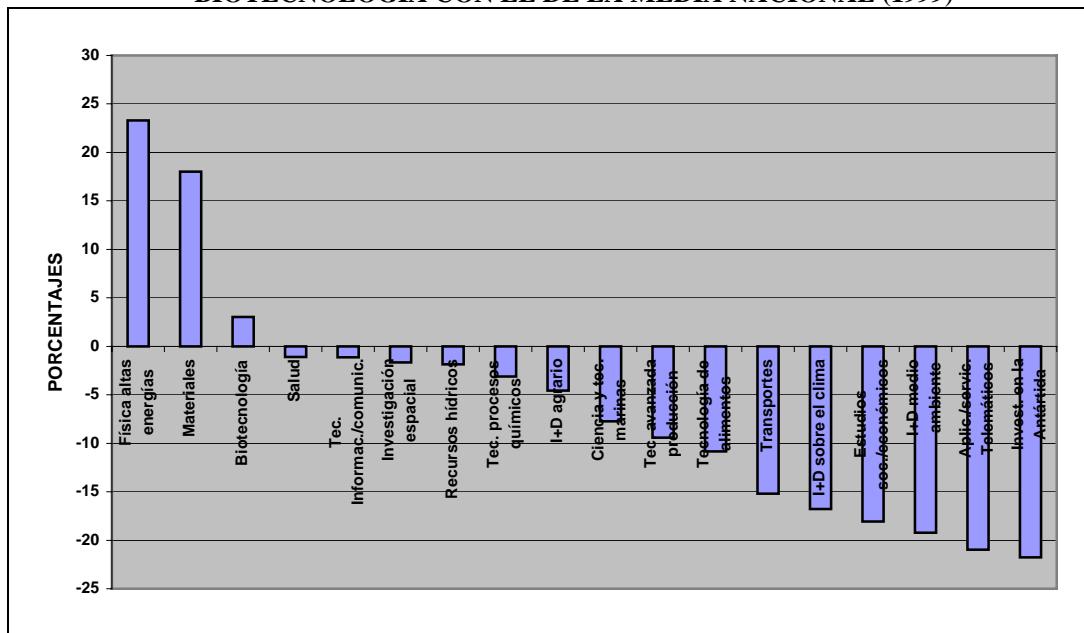
GRÁFICO 4.5.
COMPARACIÓN DEL ÉXITO DE PROYECTOS CONCEDIDOS DEL PROGRAMA BIOTECNOLOGÍA CON EL DE LA MEDIA NACIONAL (1999)



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 67)

Como vemos el Programa de biotecnología (-0,26%) se situó un poco por debajo de la media nacional, y en una posición intermedia respecto al resto de Programas. Ello fue debido, sin duda, a la distorsión que representa el Programa de Física y altas energías en el que, recordemos, todos los proyectos solicitados fueron concedidos. Pero veamos cual fue su comportamiento respecto a la media nacional, en cuanto a la proporción del éxito alcanzado en la financiación concedida con relación a la solicitada.

GRÁFICO 4.6.
COMPARACIÓN DEL ÉXITO DE LA FINANCIACIÓN CONCEDIDA AL PROGRAMA BIOTECNOLOGÍA CON EL DE LA MEDIA NACIONAL (1999)

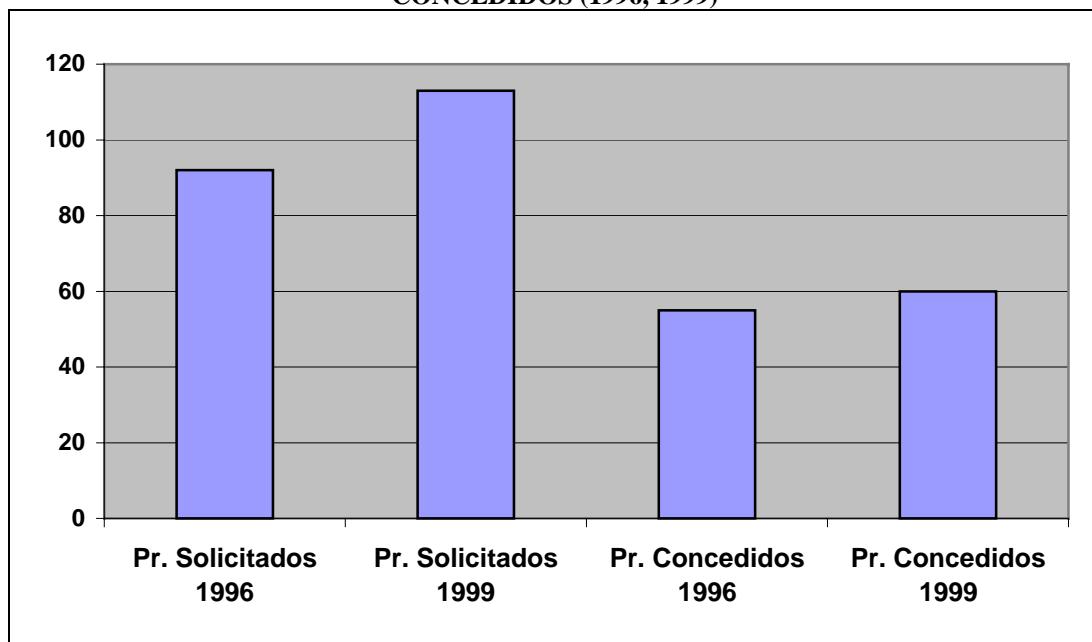


FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (2001: 67)

El gráfico muestra como el Programa de Biotecnología se situó por encima (3,04%), en cuanto a la financiación concedida respecto a la solicitada, comparada con lo que ocurrió con la media española. En este aspecto sólo se situó por debajo de los Programas Física de altas energías y Materiales.

En cuanto a la comparación de los ejercicios de 1996 y 1999 del Programa de Biotecnología, en su Eje de Actividad Proyectos del III Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, decir que a continuación veremos algunos de los indicadores tratados anteriormente, respecto al Programa de Biotecnología, en su evolución. Es decir, veremos cual fue su comportamiento en 1996, respecto al que hemos visto que tuvo en 1999; y ello con relación a la evolución del Programa de biotecnología por proyectos y fondos solicitados y concedidos, y la relación entre proyectos y fondos solicitados y concedidos para ambos años. Para ello procederemos como hasta ahora: ilustrando los datos con gráficos y comentando los resultados obtenidos.

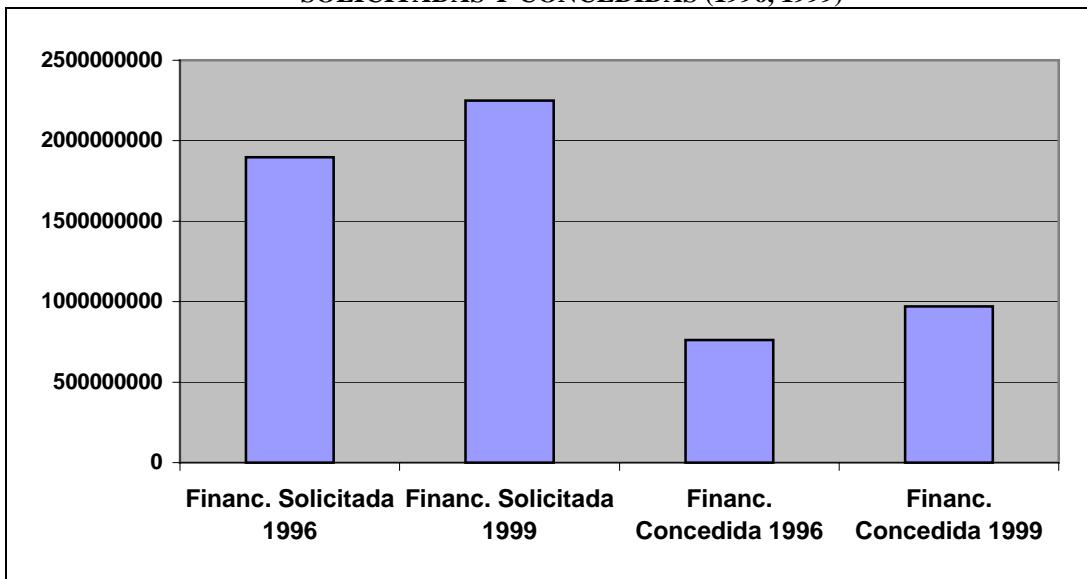
GRÁFICO 4.7.
EVOLUCIÓN DEL PROGRAMA DE BIOTECNOLOGÍA POR PROYECTOS SOLICITADOS Y CONCEDIDOS (1996, 1999)



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (1997: 30 y 2001: 67)

Vemos en el gráfico que el Programa Biotecnología ha crecido tanto en proyectos solicitados (113 frente a 92, o sea 21 más) como en proyectos concedidos (60 frente a 55, es decir 5 más), aunque en este aspecto menos que en el anterior. Es un crecimiento pequeño como se observa.

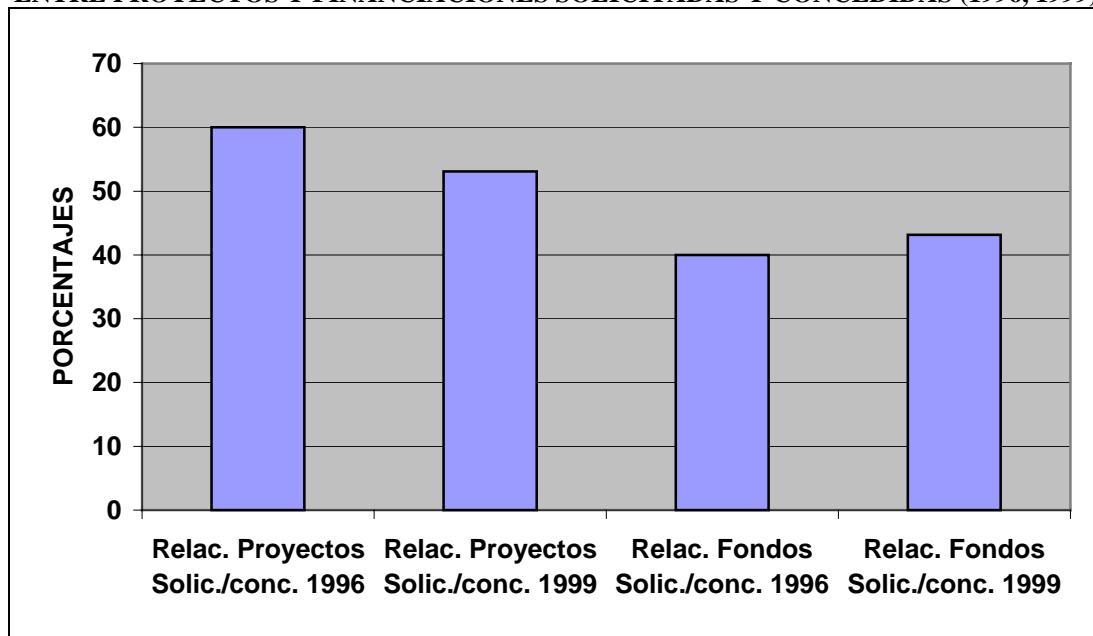
GRÁFICO 4.8.
EVOLUCIÓN DEL PROGRAMA DE BIOTECNOLOGÍA POR FINANCIACIONES SOLICITADAS Y CONCEDIDAS (1996, 1999)



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (1997: 30 y 2001: 67)

Se observa un incremento tanto en la financiación solicitada (2.250.100.000 Ptas. frente a 1.896.493.000 Ptas.) como en la concedida (970.600.000 Ptas. Frente a 762.060.000 Ptas.). Es de destacar este aumento de 208 millones de pesetas en números absolutos.

GRÁFICO 4.9.
EVOLUCIÓN DEL PROGRAMA DE BIOTECNOLOGÍA EN CUANTO A LA RELACIÓN ENTRE PROYECTOS Y FINANCIACIONES SOLICITADAS Y CONCEDIDAS (1996, 1999)

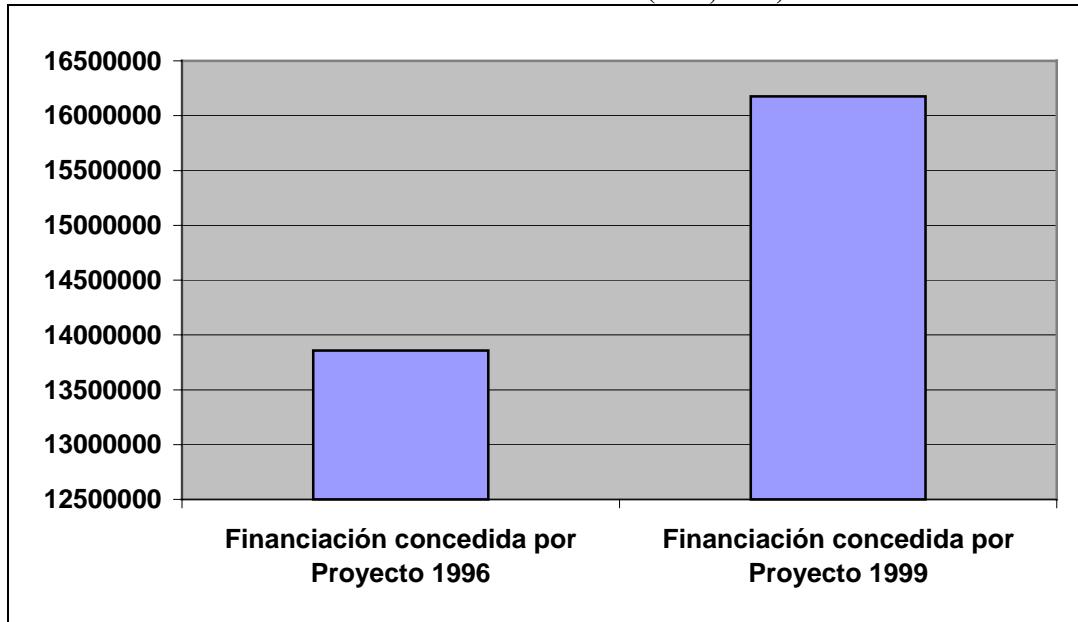


FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (1997: 30 y 2001: 67)

Se observa una ligera disminución en el porcentaje de éxito de los proyectos solicitados con relación a los concedidos (60% frente a 53,9%), pero un ligero aumento del éxito respecto a la financiación solicitada en comparación con la concedida (40% frente a 43,13%). Datos que no implican, en ninguno de los dos casos, una variación sustancial en el comportamiento del Programa de Biotecnología.

Por último vamos a ver, en un nuevo gráfico, la evolución experimentada por el Programa de Biotecnología, en cuanto a la financiación concedida por cada proyecto. Para ello compararemos los ejercicios de 1996 y 1999 como hemos venido haciendo.

**GRÁFICO 4.10.
EVOLUCIÓN DE LA FINANCIACIÓN CONCEDIDA POR PROYECTO EN EL PROGRAMA
DE BIOTECNOLOGÍA (1996, 1999)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos de CICYT (1997: 30 y 2001: 67)

El gráfico muestra que la financiación concedida por proyecto en el Programa Biotecnología ha crecido, pasando de los 13.857.200 Ptas. de 1996 a los 16.176.666 Ptas. de 1999. Lo que supone un aumento de 2.319.466 Ptas. por proyecto.

Todos los datos analizados en este apartado nos hacen concluir que el Programa Biotecnología se halla bien consolidado en el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo, ocupando un lugar central en el mismo, de que existe una base importante y de calidad de investigadores en esta área; pero que no ha experimentado un crecimiento importante, más bien se ha mantenido en términos similares, por lo menos de 1996 a 1999. Una razón de esto, razón que ya apuntamos con anterioridad, es que la colaboración entre CPI y empresas no ha alcanzado un nivel aceptable, y no ha crecido en las proporciones que cabría esperar al avance registrado por la ciencia y tecnología española.

2.2.3. Cofinanciación del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en 1999 de proyectos de la Unión Europea en el V Programa Marco.

En este apartado veremos el comportamiento del Programa de Biotecnología, en cuanto a la cofinanciación que dio durante 1999, en el III Plan Nacional de I+D, para proyectos europeos del V Programa Marco.

TABLA 4.3.
**COFINANCIACIÓN DEL III PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
 ESPAÑOL A PROYECTOS EUROPEOS DEL V PROGRAMA MARCO (1999)**

PROGRAMA	SOLICITADO		CONCEDIDO	
	NÚMERO	TOTAL*	NÚMERO	TOTAL*
Biotecnología	20	116,2	20	97,2
Salud	3	12,2	1	7,3
Tecnología de alimentos	10	17,9	10	19,6
I+D agrario	8	24,8	8	11,8
I+D medio ambiente	28	192,6	18	65,3
Recursos hídricos	1	2,9	1	1,7
Ciencia y tecnología marinas	11	102,9	10	27,1
Tecnología avanzada producción	18	409,2	18	100,6
Investigación espacial	1	11,7	0	0
Materiales	19	194,4	17	77,8
Tecnología Información y comunicación	29	242,4	27	132,2
Aplicación y servicios telemáticos	2	15,1	1	1,2
Tecnología procesos químicos	3	15,5	2	4,9
Fomento articulación sistema	1	4	0	0
Estudios sociales y económicos	8	17,7	5	2,7
Total	162	1.379,5	138	549,4

FUENTE: CICYT (2001: 69)

* Millones de pesetas

La tabla muestra que en este apartado de cofinanciación del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo español a proyectos europeos, dentro del V Programa Marco (1998-2002) para su ejercicio de 1999, y en cuanto a número de solicitudes (20), el Programa de Biotecnología ocupó el tercer lugar; precedido tan sólo por los Programas Tecnologías información y comunicaciones (29), y de I+D en medio ambiente (28). Sin embargo, en el apartado de financiación solicitada (116,2 millones de Ptas.) se situó en cuarto lugar, justo después de los Programas de Tecnologías avanzadas de la producción (409,2 millones Ptas.), Tecnologías de la información y comunicaciones (242,4 millones Ptas.), Materiales (194,4 millones Ptas.) y I+D medio ambiente (192,6 millones Ptas.). En número de proyectos concedidos del Programa de biotecnología (20)²³⁶ ocupó el segundo lugar, y fue superado tan sólo por el Programa de Tecnologías de la información y comunicaciones al que se le

²³⁶ Destacar que todos los proyectos solicitados fueron concedidos.

concedieron 27 proyectos. Con relación a la financiación concedida (97,2 millones Ptas.) el Programa de Biotecnología se situó en el tercer lugar, precedido tan sólo por los Programas Tecnología de la información y comunicaciones (132,2 millones de Ptas.), y Tecnologías avanzadas de la producción (100,6 millones de Ptas.). Decir también que el porcentaje de esta financiación concedida respecto a la solicitada fue del 83,64%, bastante por encima (en realidad más del doble) de la media nacional que fue del 39,82%.

Todos estos resultados dan cuenta de la existencia en nuestro país, en el año 1999, de Centros de Investigación excelentes; Centros que han obtenido financiación de distintas áreas del V Programa Marco, y que además han sido cofinanciados por el Plan Nacional de I+D.

2.2.4. Otras financiaciones de proyectos en las que estuvo presente la Investigación y Desarrollo en biotecnología durante 1999

A los datos apuntados hay que añadir que al Programa de Biotecnología se le concedieron 4 acciones especiales, con una financiación de 15 millones de Ptas., para apoyar las actividades de dos redes temáticas y cofinanciar un proyecto de Agencia Europea del Espacio (ESA). Con cargo a los fondos FEDER se aprobaron en esta área 77 proyectos de los 148 solicitados. La financiación a estos proyectos fue de 1.996 millones de Ptas., lo que supuso, como media, 26 millones de Ptas. por proyecto. Su distribución geográfica fue de 56 proyectos en regiones de Objetivo 1 (en la que destacaron Andalucía, Castilla y León y Valencia), y 21 proyectos en regiones Objetivo 2, principalmente Cataluña y Madrid.

La biotecnología, como no podía ser de otra forma dado su carácter horizontal que permite su aplicación en diversas áreas de conocimiento, estuvo presente en otros Programas del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo en el año que estamos comentando. Así, por ejemplo, en el Programa Nacional de Salud encontramos, dentro de las líneas de investigación que aborda, la caracterización de enfermedades genéticas y terapia génica; en el Programa

Nacional de Tecnología de alimentos está la transformación de alimentos por procesos biotecnológicos, y proyectos orientados a la modificación genética de microorganismos implicados en la elaboración de alimentos; en el Programa Nacional de I+D agrario encontramos objetivos como la aplicación de la genética y de la biología molecular de la mejora de plantas, y la aplicación de técnicas de genética molecular a la identificación de genes de interés productivo.

En cuanto a los proyectos concertados²³⁷ y cooperativos²³⁸, los más próximos a la empresa, el Programa de Biotecnología se comportó de la siguiente forma: el número de proyectos concertados del Programa fue 2 (uno en Andalucía y otro en la Comunidad Valenciana), con un presupuesto de 279,6 millones Ptas., una aportación del Plan Nacional de 139,8 millones Ptas. (98,4 millones de Ptas. en Andalucía, y 41,4 millones de Ptas. en la Comunidad Valenciana). El número de convenios con CPI fue 6, y la aportación a CPI fue de 47,1 millones Ptas. el Programa de Biotecnología no tuvo presencia en proyectos cooperativos.²³⁹

Otra modalidad de proyectos donde la biotecnología tuvo presencia fue la que se refirió a los coordinados Inter-Empresariales. Se trató de un programa piloto de ayuda para la realización de proyectos de I+D, en cuyo desarrollo debían participar al menos dos empresas en coordinación con un Centro Público de Investigación (CPI), o un Centro de Innovación Tecnológica (CIT). En este Programa piloto se solicitaron 43 proyectos en el área de biotecnología, con una financiación de 2.597 millones de Ptas.

²³⁷ Los proyectos concertados requieren la participación de algún Centro Público de Investigación (CPI)

²³⁸ Los proyectos cooperativos requieren la participación de Centros de Innovación Tecnológica (CIT).

²³⁹ Los datos que mencionamos a continuación están extraídos de Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología: *Memoria de actividades del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo 1999*, Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Madrid, 2001, pp. 95, 96 y 100.

Por último, cabe decir que durante 1999 existieron acciones, no incluidas dentro del Plan Nacional de I+D, que actuaron en este campo de la Investigación y Desarrollo, y en concreto en el área de la biotecnología. Es el caso de acciones del Ministerio de Industria y Energía encaminadas al desarrollo industrial de biotecnologías, por ejemplo ligadas a: bioprocesos, procesos enzimáticos de separación y purificación, procesos selectivos; o I+D de nuevos productos y especialidades.

2.3. Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997)

En este apartado nos dedicaremos a examinar, con algún detalle, algunas de las variables más importantes de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología. Entre las mismas hay que destacar: su distribución geográfica por comunidades autónomas, su distribución Sectorial sobre la base de segmentos del mercado biotecnológico primario internacionalmente admitidos, su distribución por número y tipo de empleados, las fuentes de que se financian, su aportación a las solicitudes de patentes que afectan o afectarán a España, las técnicas que utilizan.

2.3.1. Distribución geográfica de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997)²⁴⁰

La distribución de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología presenta una gran concentración geográfica como podemos ver en la siguiente tabla.

²⁴⁰ Los datos comentados en esta sección están extraídos de Armando Albert, op. cit.

TABLA 4.4.
**DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN
 ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1992-1997)**

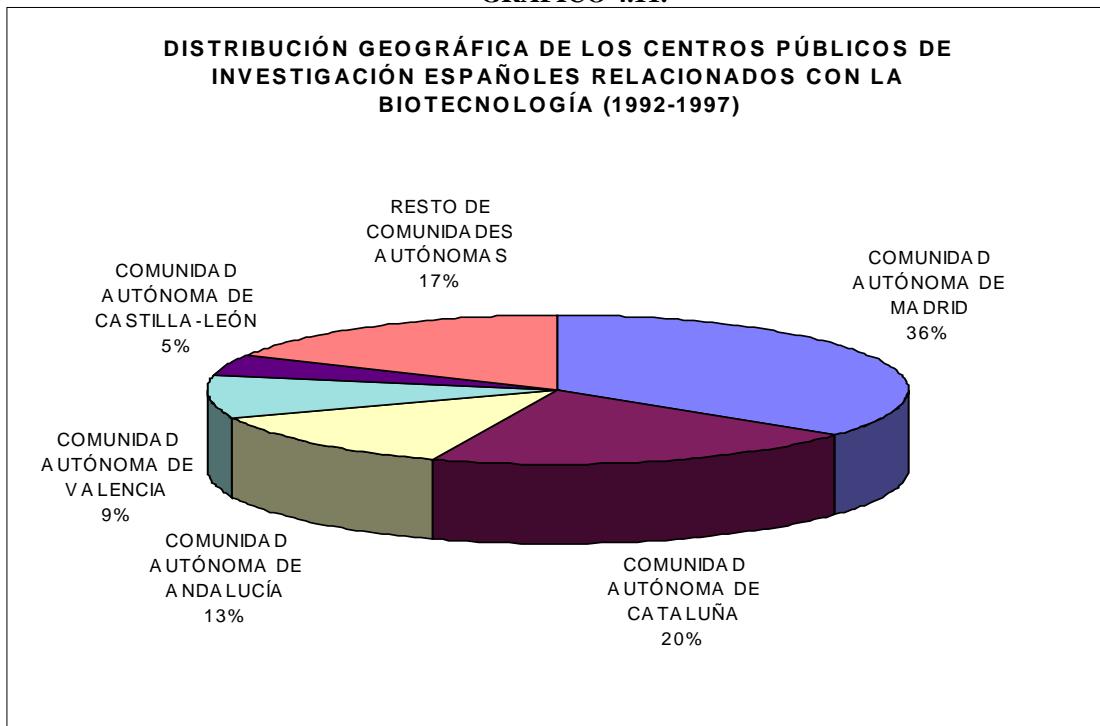
COMUNIDAD AUTÓNOMA A LA QUE PERTENECEN	CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID	273
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CATALUÑA	155
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA	100
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE VALENCIA	70
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CASTILLA-LEÓN	37
RESTO DE COMUNIDADES AUTÓNOMAS	131
TOTAL CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN	766

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Las Comunidades Autónomas de Madrid y Cataluña representan alrededor del 56% de los CPI relacionados con la biotecnología existentes en España. Si a estas dos Comunidades Autónomas señaladas les añadimos las Comunidades Autónomas de Andalucía, Valencia y Castilla y León nos encontramos con que en tan sólo cinco Comunidades Autónomas están ubicados el 83% de los CPI biotecnológicos españoles. Como se constata con estos datos, existe una gran concentración de los CPI dedicados a la biotecnología en nuestro país.

El gráfico que presentamos a continuación nos da una visión bastante exacta de la distribución geográfica de los CPI con sede en España relacionados con la biotecnología.

GRÁFICO 4.11.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

El análisis pormenorizado de los datos que observamos en el diagrama de sectores nos indica que en buena parte del territorio español la investigación pública en materia de biotecnología es escasa y que en algunas Comunidades, como las de Castilla La Mancha y La Rioja, es nula. Dada la importancia y potencialidad de la biotecnología para la agricultura y la elaboración de alimentos, y teniendo en cuenta por ejemplo que Castilla La Mancha es un Comunidad eminentemente agrícola, y que para la economía de la Rioja la elaboración de vinos y el cultivo de espárragos son sumamente importante; resulta sorprendente que ningún Centro Público de Investigación relacionado con la biotecnología se halle situado en esas Comunidades Autónomas.

Otro dato a destacar es el gran peso de la Comunidad de Madrid en cuanto a los CPI vinculados con la biotecnología que se encuentran en su territorio. Este peso se debe a la ubicación en esta Comunidad Autónoma del Centro Nacional de Biotecnología y de muchos de los CPI de ámbito nacional, sobre todo los pertenecientes al Consejo Superior de

Investigaciones Científicas (CSIC) y al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia (INIA).

Por último, señalar que la distribución geográfica de los CPI relacionados con la biotecnología obedece en España más a una cuestión de desarrollo histórico centralista motivado por razones políticas, que a las necesidades económicas reales de I+D de las distintas Comunidades Autónomas²⁴¹.

2.3.2. Distribución sectorial de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología (1992-1997)

Los sectores a los que hacemos referencia en este apartado corresponden básicamente a los segmentos del mercado primario comúnmente aceptados en los análisis internacionales de actividades biotecnológicas. A éstos se les han añadido los segmentos de Aspectos Básicos y de Biotecnología y Sociedad. En los casos en que un CPI tiene dedicación en más de un sector se optó por incluirlo en aquél en que su actividad es más representativa.

La siguiente tabla nos da cuenta de la distribución Sectorial de los Centros Públicos de Investigación relacionados con la biotecnología con sede en España en el período 1992-1997.

**TABLA 4.5.
DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN
ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1992-1997)**

SECTOR AL QUE PERTENECE	CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN
TERAPÉUTICA, CUIDADOS DE SALUD HUMANA Y/O ANIMAL	169
ASPECTOS BÁSICOS	168
PROVEEDORES DE LA INDUSTRIA	128
AGROALIMENTACIÓN PLANTAS	126
OTROS CUIDADOS DE SALUD	101
ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE	47
BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD	15
AGROALIMENTACIÓN ANIMALES	12
TOTAL CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN	766

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

²⁴¹ Esta centralización, que es ampliable a todo el Sistema Nacional de I+D, ha sido en buena parte disminuida por la entrada en vigor de la Constitución Española de 1978 que descentraliza el territorio; y sobre todo por la asunción de competencias en I+D por las distintas Comunidades Autónomas.

En la tabla podemos distinguir, por orden de importancia, tres grupos. El primero de ellos, y más importante, lo constituyen el sector “salud humana y/o animal” y el sector “aspectos básicos”. Éstos representan un poco más del 57% del total de los CPI españoles que tienen que ver con la biotecnología. El segundo grupo está compuesto por el sector “proveedores de la industria” y el sector “agroalimentación plantas”. Entre ambos suponen alrededor del 33% de los CPI en este campo ubicados en nuestro país. Por último, el grupo formado por los sectores “energía y medio ambiente”, “biotecnología y sociedad” y “agroalimentación animales” son aproximadamente el 10% del total de CPI con sede en España relacionados con la biotecnología.

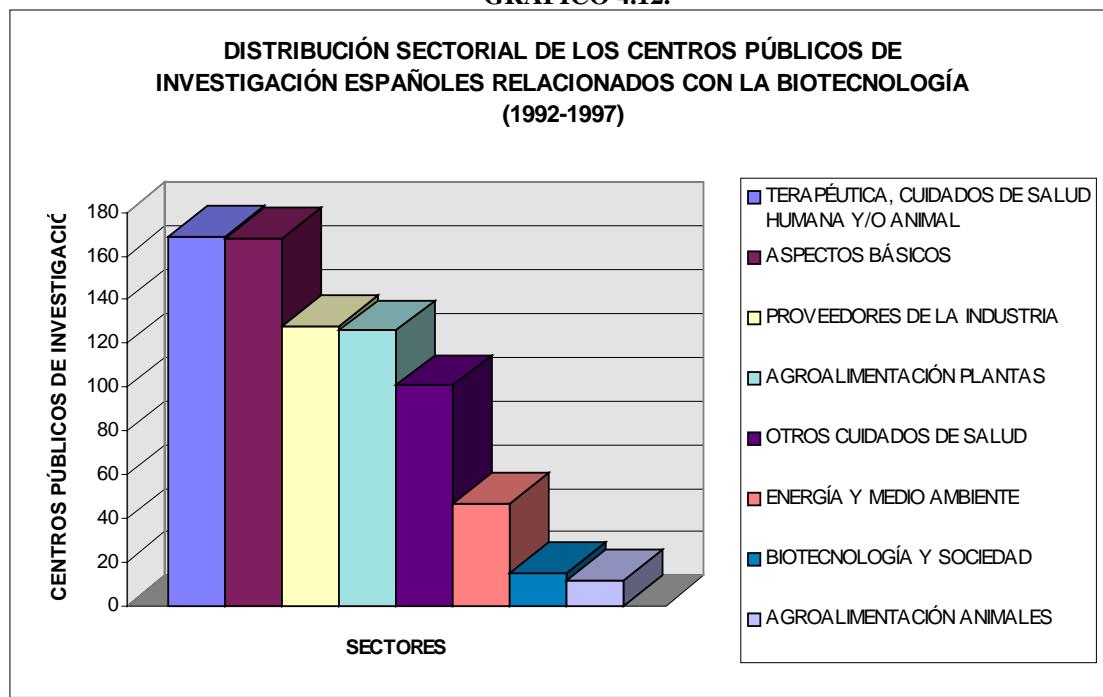
No es sorprendente que sea precisamente en el sector “salud humana y/o animal” (sobre todo en la humana) y en el sector “aspectos básicos” donde se sitúa el mayor número de CPI en nuestro país. Ello obedece, a nuestro entender, al desarrollo histórico de las estructuras académicas españolas.²⁴² El buen número de Centros ubicados en el sector “proveedores de la industria” obedece a un intento progresivo del Sistema Público de Investigación y Desarrollo de adaptar, en este campo, la oferta de los CPI a la demanda empresarial. El buen número obtenido por el sector “agroalimentación plantas” es debido principalmente a la importancia que tiene la agricultura en España, y por tanto a la necesidad de que los CPI de nuestro país investiguen en los campos científicos y tecnológicos punteros vinculados con ella. El bajo número de CPI que están en el sector “Energía y Medio Ambiente” da cuenta de la todavía poca importancia de estas áreas de investigación científica en nuestro país; sobre todo de aquellas que tienen que ver con el medio ambiente. Por otro lado, que existan tan pocos CPI en el sector “Biotecnología y Sociedad” se debe al gran abismo que existe en la financiación de la investigación científico y tecnológica, tanto básica como aplicada, en este campo y la investigación social que tiende a indicar los impactos sociales de la biotecnología. Sorprende, por último, el escaso número de

²⁴² En España existe una tradición académica de investigación básica en biología, sobre todo en temas relacionados con la salud humana, que se inicia a finales del siglo pasado con la figura de Don Santiago Ramón y Cajal, que tuvo su continuación con sus discípulos, y que aún perdura en el tiempo.

CPI que se ubican en el sector “biotecnología animal”, máxime cuando en España las actividades pesqueras y ganaderas son de gran importancia para la economía y el empleo de nuestro país.

El gráfico que presentamos a continuación nos resume de forma concisa lo que hemos venido diciendo en este apartado.

GRÁFICO 4.12.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

2.3.3. Distribución de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología por número y tipo de empleados (1992-1997)

En el presente apartado hemos distribuido los CPI conforme al número de empleados (de 1 a 5 empleados, de 6 a 10 empleados y más de 10 empleados) y a su tipo (“Staff”, es decir, doctores que realizan investigación en CPI, y “otro personal y estudiantes graduados”, compuesto por personal auxiliar de apoyo a la investigación, becarios, etc.). La tabla que presentamos a continuación nos da cuenta de los resultados obtenidos según la clasificación apuntada

TABLA 4.6.
DISTRIBUCIÓN DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN ESPAÑOLES
RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA POR NÚMERO Y TIPO DE EMPLEADOS
(1992-1997)

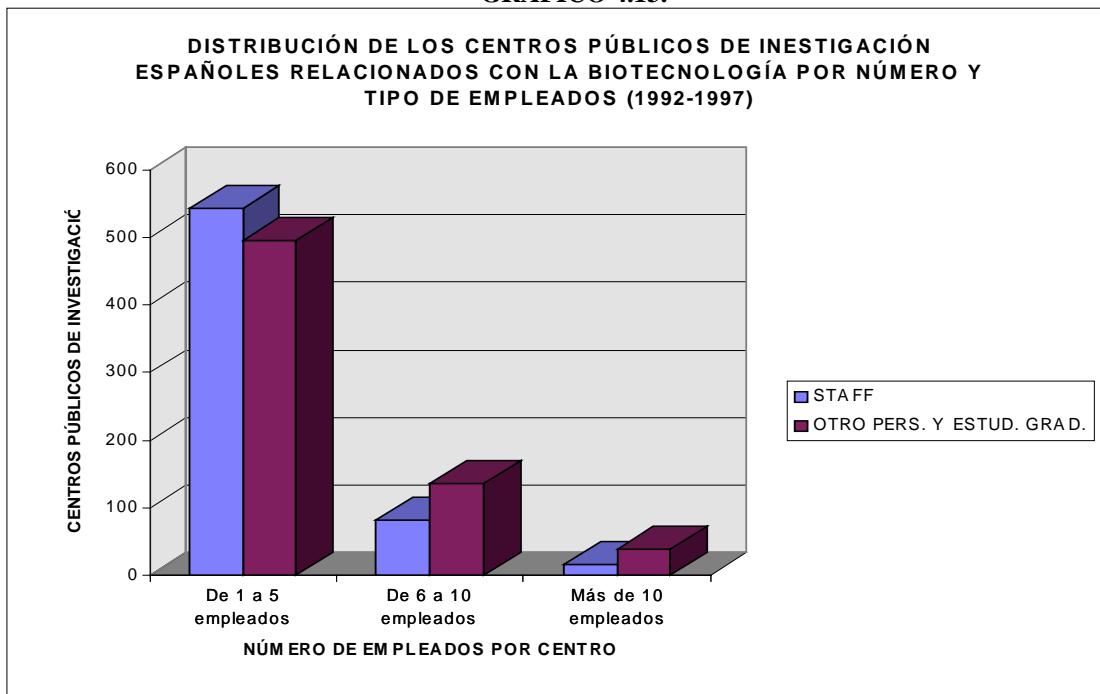
NÚMERO DE EMPLEADOS	NÚMERO DE CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN POR TIPO DE EMPLEADOS	
	STAFF	OTRO PERSONAL Y ESTUDIANTES GRADUADOS
De 1 a 5 empleados	544	496
De 6 a 10 empleados	81	135
Más de 10 empleados	16	38
Sin datos	125	97
Total Centros de Públicos de Investigación	766	766

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Lo primero a señalar, con relación a la tabla, es que no disponemos de datos para el 16,31% de los CPI por tipo de personal “Staff” y del 12,66% de los mismos por “otro personal y estudiantes graduados”. De los datos que disponemos (tanto en el tipo de “empleados Staff” (71,01%) como en el de “otro personal y estudiantes graduados”) (64,75%) es en el grupo de 1 a 5 empleados donde se sitúa el mayor número de CPI en este campo. A gran distancia de éste se sitúa el grupo de 6 a 10 empleados que es en el tipo de empleados “Staff” el 10,57% y en el tipo “otro personal y estudiantes graduados” el 17,62% de los Centros. En el grupo de más de 10 empleados se sitúan el 2,08% del tipo “Staff” y el 4,96 del tipo “otro personal y estudiantes graduados”.

El siguiente diagrama de barras nos resume de forma gráfica los datos comentados en el párrafo anterior.

GRÁFICO 4.13.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Conforme a los datos hasta aquí vistos podemos decir que los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología son pequeños atendiendo al número de “staff” y de “otro personal y estudiantes graduados” que ocupan. El tipo de personal “Staff”, en este campo, ocupa a 2.295 doctores. Esto significa que en cada CPI trabajan, como media, aproximadamente 3,58 doctores. Por otro lado, en el sector “otro personal y estudiantes graduados” se ocupan a 3.089 personas. Lo que supone que en cada CPI español relacionado con la biotecnología trabajan, como media, aproximadamente 4,61 personas dedicadas al apoyo de la investigación. La relación entre doctores y personal de apoyo a la investigación muestra como el número de este último es claramente insuficiente para atender las complejidades crecientes de gestión y organización de los proyectos de I+D. No es extraño que los investigadores españoles se quejen del tiempo que tienen que emplear en aspectos que no son meramente los de investigación.

2.3.4 Agencias Nacionales financieradoras de I+D de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997

Varias son las Agencias Nacionales que financian la Investigación Pública en España. Estas Agencias financieradoras se orientan a objetivos distintos. Las hay que se dedican a financiar ciencia básica y genérica, y las hay que financian ciencia aplicada y sectorial. Dentro del primer conjunto se encuentran: el Plan General del Conocimiento (PGC) dependiente del Ministerio de Educación y Ciencia, y la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) encargada del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo. Dentro de la segunda se encuentran: los Planes Sectoriales del Ministerio de Sanidad y Consumo, llamados Fondo de Investigación Sanitaria (FIS)²⁴³, los Planes del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAPA/INIA), y por último los fondos provenientes del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI).

La tabla que presentamos a continuación nos muestra el número de CPI (766) españoles relacionados con la biotecnología que obtuvieron financiación para sus proyectos en el período 1992-1997, y las Agencias Nacionales que los financiaron.

**TABLA 4.7.
AGENCIAS NACIONALES FINANCIADORAS DE I+D DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 1992-1997**

AGENCIAS NACIONALES	CENTROS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS
CICYT	482
PGC	282
PLAN SECTORIAL FIS	84
CDTI	66
PLAN SECTORIAL MAPA-INIA	28
OTRAS AGENCIAS NACIONALES	13
TOTAL CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS	955

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

²⁴³ En la actualidad los Planes de Investigación del FIS se encuentran integrados en el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo.

Un mismo Centro Público de Investigación puede estar financiado a la vez por más de una Agencia Financiadora. De ahí que el número de CPI financiados (955) sea superior al número de los existentes (766). Esto viene a significar que cada Centro Público de Investigación relacionado con la biotecnología está financiado, como media, por 1,24 Agencias Nacionales.²⁴⁴

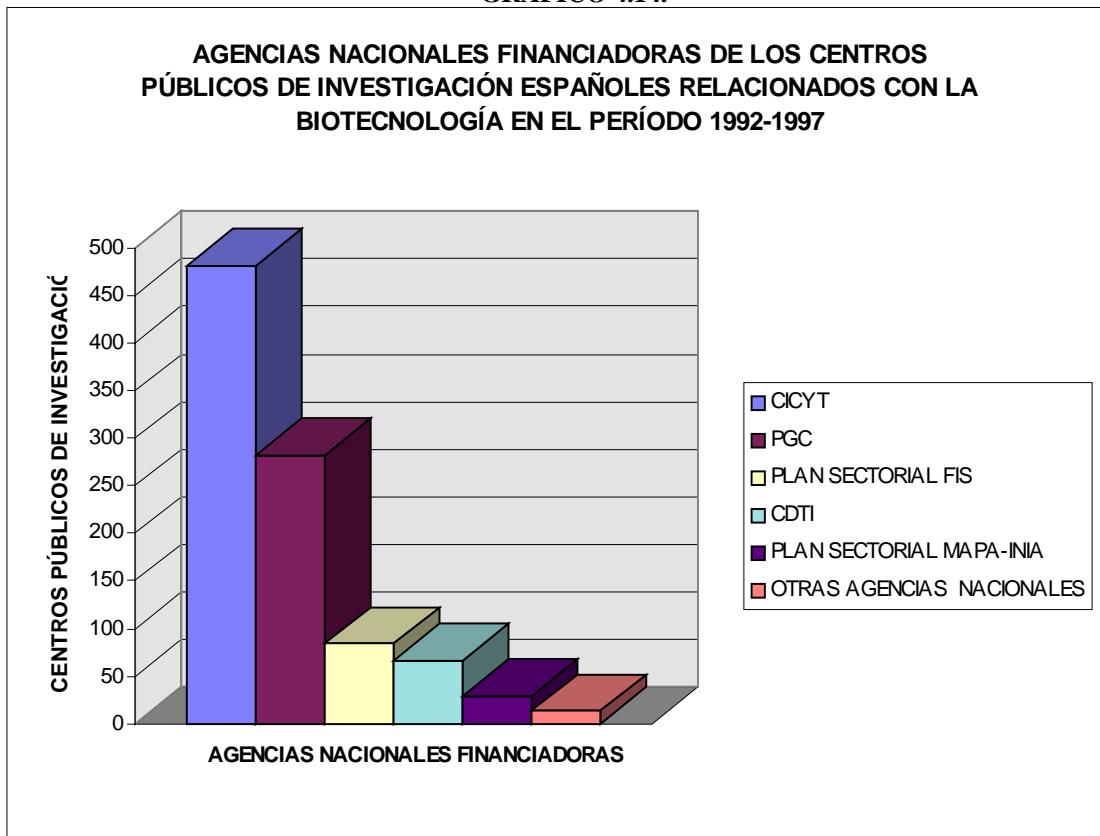
En cuanto a los datos concretos que aparecen en la tabla, encontramos en primer lugar, que son las Agencias Nacionales dedicadas a financiar proyectos de ciencia básica y genérica las que financiaron un mayor número de CPI (764); mientras que las dedicadas a financiar ciencia aplicada y Sectorial financiaron un menor número de éstos (191)²⁴⁵.

El diagrama de barras que incluimos a continuación nos visualiza como se distribuyó el número de CPI relacionados con la biotecnología según la Agencia Nacional que los financió.

²⁴⁴ Aunque aquí también debemos tener en cuenta que el período considerado es de 6 años, y que como ya dijimos la media de duración de los proyectos es de 3 años.

²⁴⁵ Incluimos aquí las Financiaciones de otras Agencias Nacionales.

GRÁFICO 4.14.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Como vemos la Agencia Nacional que más CPI relacionados con la biotecnología financió fue la Comisión Interministerial de la Ciencia y la Tecnología (482). Esta Agencia es la encargada de llevar a cabo el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo. Resulta especialmente interesante que en segundo lugar se sitúe (con un buen número de Centros Financiados, y superior al número de los financiados por todas las demás Agencias Nacionales Financiadoras, a excepción de la CICYT) el Ministerio de Educación y Ciencia (282) con el Plan General del Conocimiento, Plan dedicado exclusivamente a la investigación básica. El papel de las Agencias Nacionales Financiadoras de ciencia aplicada y Sectorial es bastante pequeño en el número de CPI relacionados con la biotecnología que financian. Así tenemos que: el Ministerio de Sanidad financió en sus Programas FIS (84) CPI, el CDTI (66)²⁴⁶, el Ministerio

²⁴⁶ Resulta de especial interés comprobar que los CPI de Investigación españoles relacionados con la biotecnología financiados por el CDTI en el período 1992-997 fueron pocos, y resulta interesante por ser esta, precisamente, la Agencia Nacional financiadora de la investigación más aplicada y próxima a la industria. Ésta es la Agencia, por excelencia, que financia los proyectos de I+D de las empresas.

de Agricultura Pesca y Alimentación (al que pertenece el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) (28), y otras Agencias Nacionales Financiadoras (13).

2.3.5. Agencias Autonómicas financieras de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997

En este apartado veremos cual es el número de CPI españoles de Investigación relacionados con la biotecnología que fueron financiados por las Administraciones Autonómicas en el período 1992-1997. Pero veamos, en primer lugar, la siguiente tabla.

**TABLA 4.8.
AGENCIAS AUTONÓMICAS DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN
ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 1992-1997**

AGENCIAS AUTONÓMICAS	CENTROS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID	47
GENERALITAT DE VALENCIA	24
JUNTA DE ANDALUCÍA	14
XUNTA DE GALICIA	10
JUNTA DE CASTILLA-LEÓN	6
GENERALITAT DE CATALUNYA	6
PAÍS VASCO	5
JUNTA DE EXTREMADURA	5
COMUNIDAD AUTÓNOMA NAVARRA	5
OTRAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS	9
TOTAL CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS	131

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

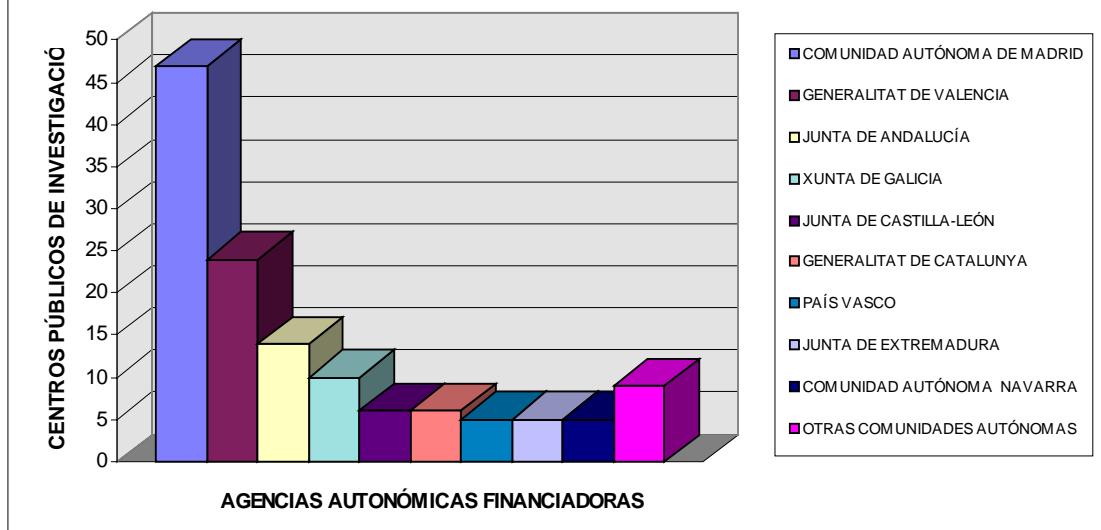
En la tabla se observa que es la Comunidad Autónoma de Madrid la que financió un mayor número de CPI españoles en el campo de la biotecnología (47). Este número, aún siendo pequeño, fue casi el doble de los CPI financiados por la Comunidad Autónoma de Valencia (24). Las demás Comunidades Autónomas se sitúan todavía en un nivel más bajo: Junta de Andalucía (14), Xunta de Galicia (10), y el resto de Comunidades Autónomas se sitúan en menos de 10 CPI financiados.

Un dato importante a destacar es que el 17% de los CPI biotecnológicos recibieron financiación autonómica en el período 1992-1997. Otro dato que merece resaltarse es que fue la Comunidad Autónoma de Extremadura la que financió un mayor número de CPI relacionados con la biotecnología, si atendemos a los que financió de su propia Comunidad, (cinco de siete). Esto representa el 71,42 %. A esta Comunidad le siguieron: Galicia con (cinco de nueve) que supone el 55,55%, el País Vasco y Navarra con (cinco de trece) que es el 38,46%, la Comunidad de Valencia con (veinticuatro de setenta) que representa el 34,28 %. En cuanto a la Comunidad Autónoma de Madrid financió a cuarenta y siete de los doscientos setenta y tres CPI biotecnológicos existentes en esta Comunidad, lo que supone el 17,21% de los mismos. La Comunidad Autónoma de Castilla León financió (seis de treinta y siete) y Andalucía (catorce de cien) que son el 16,21% y el 14% respectivamente de los CPI relacionados con la biotecnología con sede en estas Comunidades Autónomas. El resto de Comunidades, a excepción de la de Cataluña que merece un comentario aparte, financiaron (9 de 97) Centros lo que representa el 9,27%. En cuanto a la Comunidad Autónoma de Cataluña sorprende el número de CPI relacionados con la Biotecnología que financió la Generalitat de Catalunya, tan sólo seis de ciento cincuenta y cinco Centros existentes, es decir el 3,87% de los ubicados en esta Comunidad.

El gráfico que presentamos a continuación nos muestra la distribución por Comunidades Autónomas del número de CPI biotecnológicos que éstas financian, y cuyo análisis hemos realizado en los párrafos anteriores.

GRÁFICO 4.15.

**AGENCIAS AUTONÓMICAS FINANCIADORAS DE LOS CENTROS
PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA
BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 1992-1997**



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

2.3.6. Agencias de la Unión Europea finanziadoras de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997

En este apartado comentaremos la distribución y dimensión, en cuanto a número de CPI españoles vinculados al campo biotecnológico, que financiaron en el período 1992-1997 las distintas Agencias Financiadoras de la Unión Europea. La tabla que presentamos a continuación nos da una idea de ambos extremos.

TABLA 4.9.

AGENCIAS DE LA UNIÓN EUROPEA FINANCIADORAS DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 1992-1997

AGENCIAS DE LA UNIÓN EUROPEA	CENTROS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS
BIOTECH	342
BIOTECH (AP.)	233
OTRAS FINANCIACIONES DE LA UE	18
TOTAL CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS	593

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Fue dentro del tercer y cuarto Programa Marco de la Comunidad Europea, y precisamente en el apartado que éstos dedicaron a la biotecnología, donde se concentró la mayor parte de los CPI españoles vinculados con la biotecnología que obtuvieron financiación de la Unión Europea.

No olvidemos al respecto que son los Programas Marco los que en consideración al artículo 130F del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea desarrollan el objetivo de ésta en el ámbito de Investigación y Desarrollo Tecnológicos a fin de: “fortalecer las bases científicas y tecnológicas de la industria comunitaria y favorecer el desarrollo de su competitividad internacional, fomentando a la vez todas las actividades de investigación consideradas necesarias para la ejecución de otras políticas comunitarias” (Posición común adoptada por el Consejo CE nº 3/94, 14 de enero de 1994: 21).

El número CPI españoles relacionados con la biotecnología financiados por Agencias financieras de la Unión Europea (593) representó un porcentaje muy elevado (77,41%) de los que obtuvieron algún tipo de financiación (incluidas la Nacional, la Autonómica y otros tipos de financiación) en el período que se está considerando (1992-1997)²⁴⁷. Esto demuestra la buena calidad de nuestros CPI biotecnológicos, puesto que, en primer lugar, enfrentados a las evaluaciones pormenorizadas para la obtención de financiación a través de los Programas

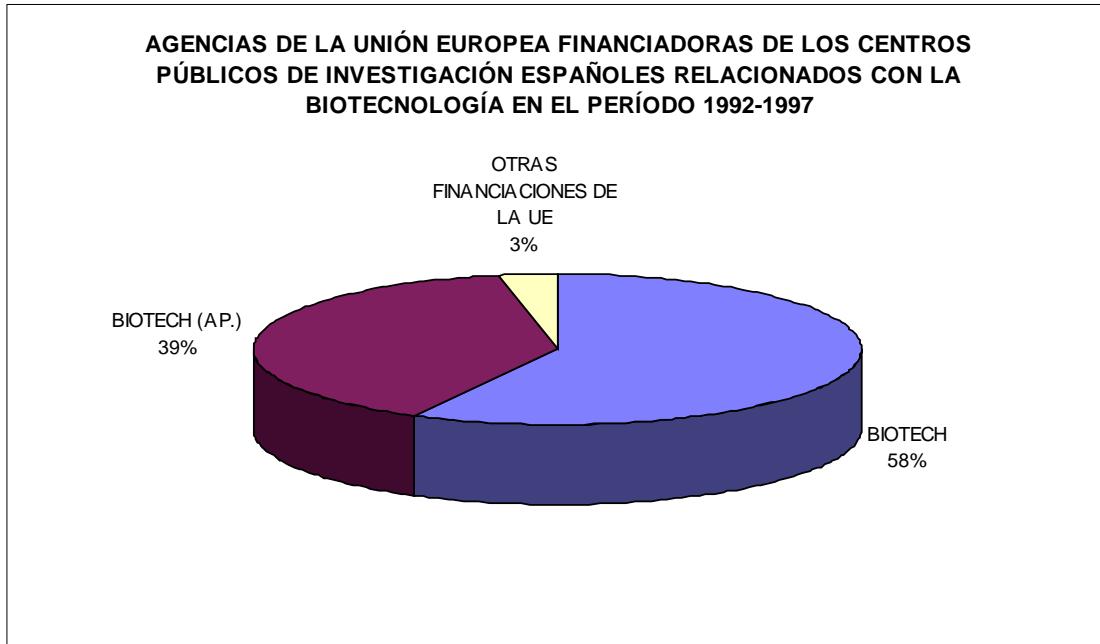
²⁴⁷ El período considerado 1992-1997 incluye tanto el tercer (1990-1994) como el cuarto Programa Marco (1994-1998) aunque, como vemos, no incluye todo el período de ambos, sino parte de cada uno.

Marcos de la UE obtienen ésta, y en un porcentaje elevado. En segundo lugar, esta obtención de fondos se realiza a través de la competencia directa con otros CPI de la UE; lo que supone estar en un nivel de calidad científica, por lo menos, similar al de los mejores. En tercer lugar, las investigaciones financiadas por los Programas Marco suelen ser cooperativas, lo que viene a suponer que varios CPI (e incluso, a veces, empresas o Centros Tecnológicos) de distintos países colaboran para llevar a cabo un proyecto. Esto obliga a los CPI españoles a asumir las responsabilidades correspondientes a la realización de la investigación que les corresponda y, por tanto, tener una capacidad científica similar a la de sus socios de proyecto.

El conjunto de Centros financiados en el área biotecnología (575), tanto en el tercer como en el cuarto Programa Marco, supera con mucho (supone el 96,96% del total) al resto de financiaciones obtenidas a través de otras Agencias de la Unión Europea. A este respecto, no hay que olvidar que en áreas, de los propios Programas Marco, como biomedicina y sanidad, agricultura y pesca o medio ambiente y clima, entre otros, se incluyen subapartados relacionados con la biotecnología donde los CPI pueden obtener financiación.²⁴⁸ A través de estos subapartados y de otras financiaciones de la UE (no dependientes de los Programas Marco) tan sólo recibieron financiación el 3,04% los CPI biotecnológicos españoles. El gráfico que presentamos a continuación nos muestra la distribución por número de Centros que estamos comentando.

²⁴⁸ Al respecto del cuarto Programa Marco véase la Posición común adoptada por el Consejo CE nº 3/94, de 14 de enero de 1994, pp. 21-64.

GRÁFICO 4.16.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Es en el cuarto Programa Marco, concretamente en el apartado que éste dedicó a la biotecnología (BIOTECH), donde se sitúo el mayor número de CPI Españoles biotecnológicos financiados (58%). El tercer Programa marco, en su apartado dedicado a la biotecnología (BIOTECH (AP.)), supuso el 39% de los Centros financiados, mientras que las otras financiaciones de la UE equivalieron al 3%.

2.3.7. Otras Agencias financieras de los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997

En este apartado veremos la distribución de las financiaciones obtenidas por los CPI biotecnológicos españoles en el período 1992-1997 procedentes de: las empresas, las Fundaciones, las propias Universidades, las acciones integradas (que son fruto de convenios internacionales en materia de Investigación y Desarrollo), la cooperación en materia de I+D con Iberoamérica, la Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN), y otras financiaciones que no especificamos dada su gran variedad y el bajo número de CPI (menos de cinco) que

financiaron.²⁴⁹ La tabla que presentamos a continuación nos da cuenta de la distribución aquí apuntada.

TABLA 4.10.
**OTRAS AGENCIAS FINANCIADORAS DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN
 ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO
 1992-1997**

AGENCIAS FINANCIADORAS	CENTROS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS
EMPRESAS	47
FUNDACIONES	23
UNIVERSIDAD	15
ACCIONES INTEGRADAS	13
COOPERACIÓN CON IBEROAMÉRICA	8
OTAN	5
OTRAS FINANCIACIACIONES	54
TOTAL CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS	165

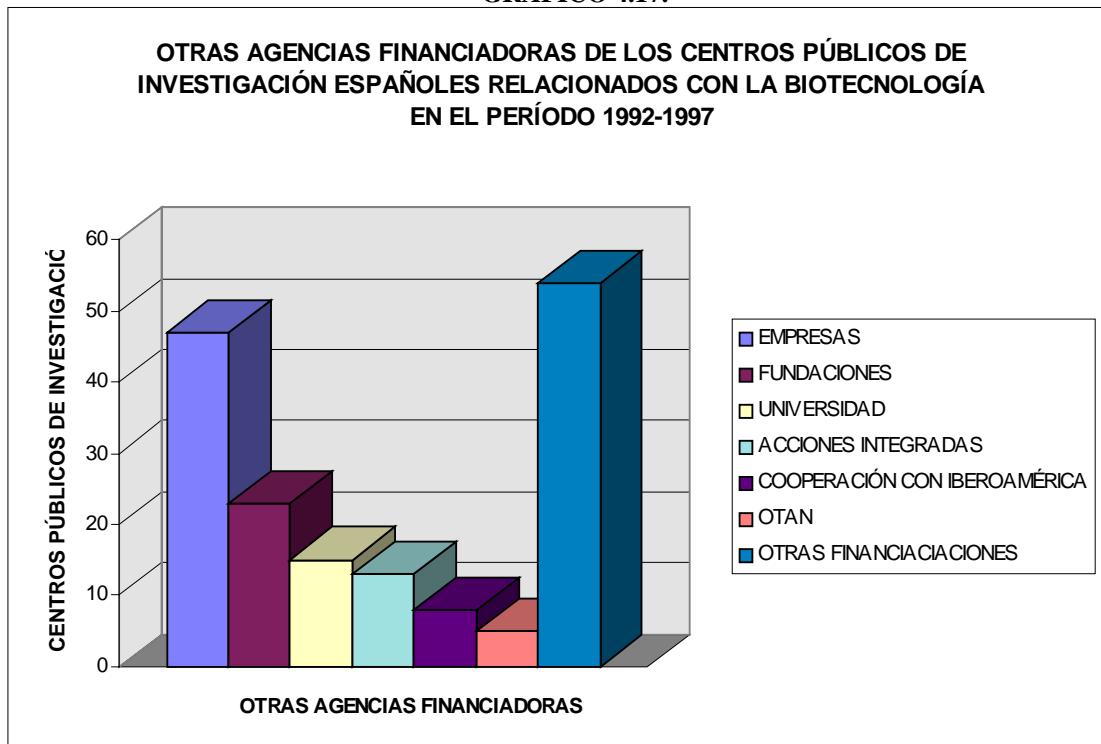
FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Los CPI que obtuvieron financiación en el período considerado a través de las Agencias financieras señaladas fueron 165, lo que supone el 21,54% de los existentes. Destaca en este grupo, como era de esperar, la empresa con 47 Centros financiados que equivale al 28,48%. Las Fundaciones con 23, y la financiación propia de la Universidad con 15 representan respectivamente el 13,93% y el 9,09%. Las Acciones Integradas con 13 CPI financiados y la Cooperación con Iberoamérica con 8 suponen el 7,87% y el 4,84%. Estos últimos datos nos dan cuenta del bajo número de CPI que fueron financiados a través de acuerdos internacionales entre países.²⁵⁰ Por último, no deja de sorprender que un Organismo de carácter militar como la OTAN financie a Centros Públicos españoles en proyectos que se relacionan con la biotecnología. El gráfico que presentamos a continuación nos visualiza de forma breve los datos analizados.

²⁴⁹ En “otras financiaciones” se incluyen Instituciones particulares y públicas de terceros países, especialmente Estados Unidos.

²⁵⁰ Esto no quiere decir, en modo alguno, que estos acuerdos carezcan de importancia. Lejos de ello, los mismos permiten sinergias y transferencias de conocimientos, tecnologías y personal investigador de gran importancia para la I+D de nuestro país.

GRÁFICO 4.17.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

2.3.8. Agencias financieras de los Centros Pùblicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997

En este apartado veremos como se distribuyó (según la procedencia de la Agencia financiadora) la financiación de los CPI españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997. La tabla que presentamos seguidamente nos da cuenta de ello.

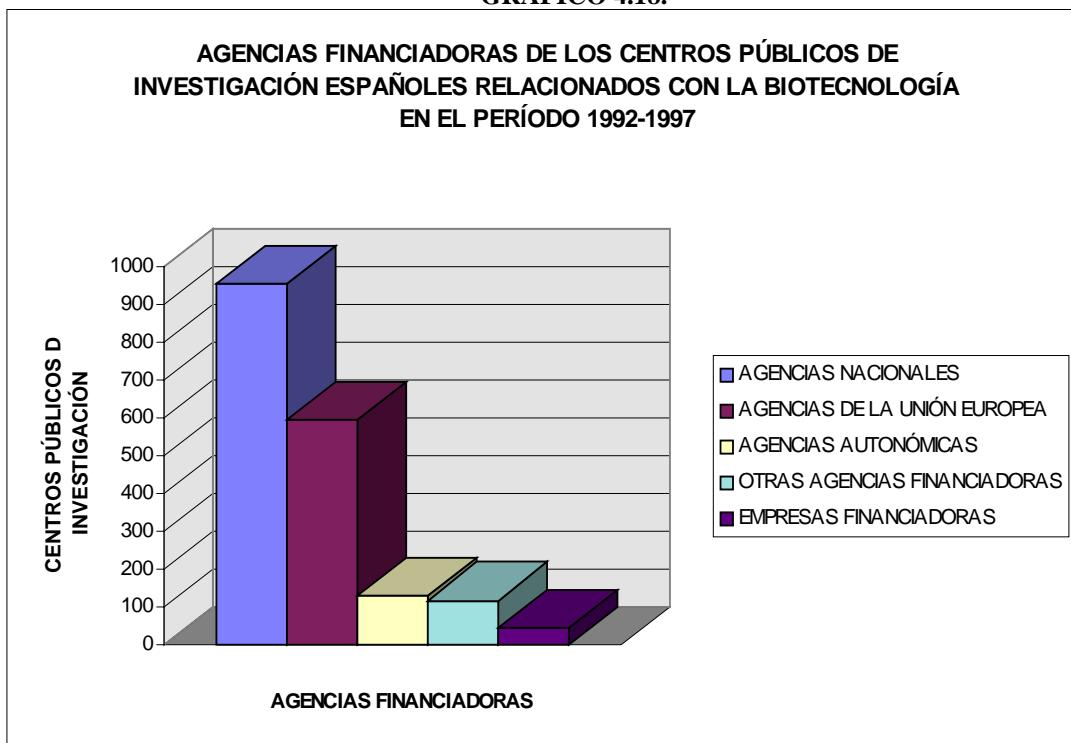
TABLA 4.11.
**AGENCIAS FINANCIADORAS DE LOS CENTROS PÙBlicos DE INVESTIGACIÓN
ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 1992-1997**

AGENCIAS FINANCIADORAS	CENTROS PÙBlicos DE INVESTIGACIÓN
AGENCIAS NACIONALES	955
AGENCIAS DE LA UNIÓN EUROPEA	593
AGENCIAS AUTONÓMICAS	131
OTRAS AGENCIAS FINANCIADORAS	118
EMPRESAS FINANCIADORAS	47
TOTAL CENTROS PÙBlicos DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS	1.844

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

Lo primero a señalar de la tabla que presentamos es que el total de CPI (1844) corresponde a la suma del número de Centros financiados por las distintas Agencias Financiadoras. Esto no implica que éste sea el número total de CPI españoles relacionados con la biotecnología existentes en el período señalado 1992-1997 que fue, como ya dijimos, de 766. Lo que sí supone el dato señalado es que cada Centro recibió en promedio financiación de 2,40 fuentes financieras distintas²⁵¹. Esto nos da cuenta de que existe variedad en la oferta financiadora de la investigación en biotecnología, y de que los CPI biotecnológicos españoles son capaces de captarla, e incluso complementar sus presupuestos de investigación a través de lo obtenido a través de varias Agencias financieras. El gráfico siguiente nos da cuenta de la distribución de las Agencias financieras de los CPI biotecnológicos españoles para el período que se viene considerando.

GRÁFICO 4.18.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

²⁵¹ No olvidemos al respecto que cada Centro puede tener más de una investigación y que por otro lado un proyecto puede estar financiado, dada sus dimensiones por más de una Agencia financiadora. En la mayoría de los casos donde existe más de una financiación las Agencias involucradas son la CICYT a través de los proyectos que financia el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo y los Programas Marco de la UE relacionados con la biotecnología. Tampoco debemos olvidar que el período de tiempo considerado es de 6 años, y que como ya dijimos la media de duración por proyecto es de 3 años.

En el gráfico observamos que fueron las Agencias Nacionales las que financiaron un mayor número de CPI (955) que representó el 51,78% de los financiados. Le siguieron las Agencias de la Unión Europea con 593, lo que equivalió al 32,15%. Muy atrás de estos dos grupos de Agencias Financiadoras se situaron las Agencias Autonómicas (131) y Otras Agencias Financiadoras (118), que fueron el 7,10% y el 6,39% respectivamente de los CPI financiados. Las empresas financiaron tan sólo 47 Centros, lo que representó el 2,54%. Este último dato creemos que es significativo de la poca colaboración entre el sector público y el sector privado español relacionado con la biotecnología, y de que los CPI biotecnológicos españoles se dedican mayoritariamente a investigación básica.

2.3.9. Principales tecnologías usadas por los Centros Públicos de Investigación españoles relacionados con la biotecnología en el período 1992-1997

En este apartado veremos la distribución de las principales tecnologías usadas por los CPI biotecnológicos españoles en el período indicado. La tabla que presentamos a continuación contiene los datos que utilizaremos para el análisis.

**TABLA 4.12
PRINCIPALES TECNOLOGÍAS USADAS POR LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN ESPAÑOLES RELACIONADOS CON LA BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÍODO 1992-1997**

TECNOLOGÍAS USADAS	CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN
BIOTECNOLOGÍA VEGETAL Y ANIMAL	340
INGENIERÍA GENÉTICA	334
BIOLOGÍA ESTRUCTURAL	320
MICROBIOLOGÍA	315
GENÉTICA MOLECULAR	304
BIOPROCESOS	172
ANTICUERPOS MONOCLONALES	155
BIOINFORMÁTICA	58
TOTAL TECNOLOGÍAS USADAS	1.998 ²⁵²

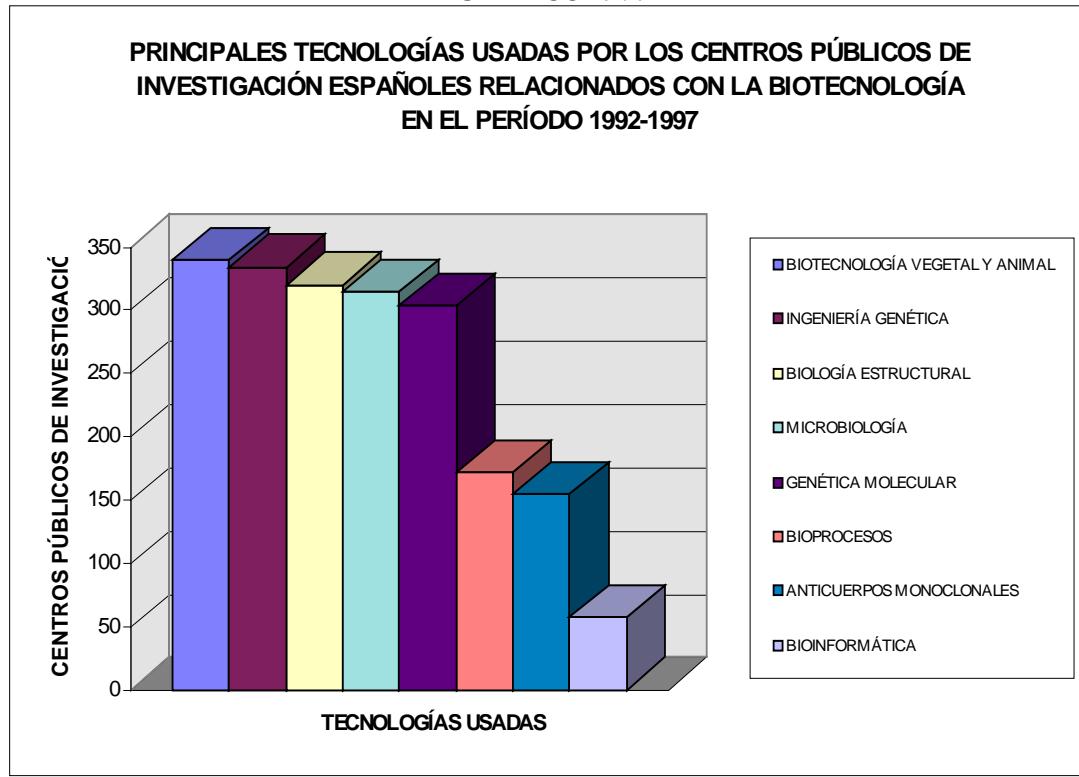
FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

²⁵² Obviamente el número de CPI contemplados aquí excede al número de los existentes. Ello es debido a que éstos usaron, como media, más de una tecnología biotecnológica.

Existe una gran variedad de tecnologías biotecnológicas. La tabla que presentamos se limita a presentar de forma genérica algunas de las más importantes de los que utilizan nuestros CPI. Éstos usaron de media, en el período indicado, 2,60 de estas tecnologías.

En este apartado se pueden establecer, según el número de Centros que abarcan, tres bloques homogéneos y claramente diferenciados. El primero, que es el que abarca un mayor número de Centros (1613) y que, por tanto, representa al (80,73%) de los contemplados, lo forman las tecnologías biotecnológicas usadas por más de 300 CPI: la biotecnología vegetal y animal (340), ingeniería genética (334), biología estructural (320), microbiología (315) y genética molecular (304). El segundo bloque lo forman aquellas tecnologías biotecnológicas usadas por más de 100 Centros: bioprocesos (172) y anticuerpos monoclonales (155); entre los dos suman un total de 327 CPI y representan el 16,36% de los considerados. El último bloque lo forma la bioinformática con 58 Centros, lo que supone el 2,91%. El diagrama de barras que presentamos a continuación nos visualiza de forma clara los datos aquí comentados.

GRÁFICO 4.19.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de Albert (1998)

3. La estructura privada de la biotecnología en España

Hemos realizado en este apartado algunas consideraciones en torno al procedimiento y fuentes consultadas en la obtención de los datos²⁵³. Después nos hemos detenido en algunos indicadores generales sobre las empresas biotecnológicas españolas que corresponden al año 1997²⁵⁴. Un nuevo apartado de esta sección lo constituirán los indicadores sobre las empresas biotecnológicas innovadoras²⁵⁵. Para finalizar este apartado incluimos en él una breve descripción sobre el comportamiento de las empresas españolas ante la biotecnología. Pero veamos a continuación cuales fueron las bases de datos y las publicaciones consultadas que nos sirvieron de fuentes²⁵⁶.

²⁵³ Decir, por el momento, que la labor de recogida de datos fue larga y difícil, y que fue posible gracias al contacto personal con personas vinculadas al Sector Público español de Investigación y Desarrollo en biotecnología. En este sentido, quiero dar las gracias aquí a la valiosa colaboración que me prestaron estas personas, agradecimiento que se consigna debidamente en el apartado de agradecimientos de esta tesis. Decir también, que la recogida de la mayor parte de los datos que presentamos se prolongó de marzo a septiembre de 1996. La diversidad de fuentes (con variables distintas recogidas), lo incompleto de los datos aportados por las fuentes en singular, y la repetición de parte de la información supuso un trabajo de depuración, pero también de ampliación de datos a fin de tener una aproximación real al tema que aquí presentamos. Esto se hizo en una segunda fase que se prolongó de marzo a junio de 1998, y en la que se acudió a nuevas bases de datos y publicaciones para obtener, en la medida de lo posible, la máxima información sobre la estructura privada de la biotecnología en España.

²⁵⁴ Entendemos por empresas biotecnológicas todas aquellas empresas que se dedican o utilizan en sus procesos de producción técnicas biotecnológicas, y ello independientemente de que las mismas sean tradicionales o se correspondan a las nuevas biotecnologías. Nuestra intención inicial era la de recoger solo a aquellas empresas que se dedican o utilizan estas últimas. Esto ha sido imposible debido a que las fuentes disponibles, y que hemos utilizado, no distinguen entre las unas y las otras.

²⁵⁵ Los datos incluidos en este apartado están extraídos de Armando Albert, op. cit. La base de datos original sobre las empresas aquí mencionadas fue extraída de los Programas Nacionales de biotecnología, de la base de datos del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), y de otros Programas sectoriales del Ministerio de Industria y Energía. Además a principios de 1997 el grupo de investigación dirigido por el Profesor Armando Albert envió un cuestionario a las empresas que incluimos en este apartado. Muchas de estas empresas también fueron seleccionadas y financiadas, en algún momento del período 1992-1997, por Programas nacionales referidos a la biotecnología, o por Programas relacionados con la biotecnología de la Unión Europea del tercer o cuarto Programa Marco.

²⁵⁶ No hemos incluido aquí la publicación que usamos para el último apartado, pues la misma no la hemos usado como fuente propiamente dicha, sino como complemento y ampliación de lo que exponemos en esta sección de la tesis.

3.1. Bases de datos y publicaciones consultadas

- 1.- Base de datos del Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente, Secretaría General de Medio Ambiente;
- 2.- Base de datos del Ministerio de Educación y Ciencia, Secretaría General del Plan Nacional de I+D, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología;
- 3.- Base de datos del Ministerio de Industria y Energía, Subdirección General de Biotecnologías, Tecnologías Químicas y otras Tecnologías;
- 4.- Base de datos del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, Departamento de Calidad de Vida;
- 5.- Base de datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia, Subdirección General de Coordinación y Programas, Subdirección General de Investigación y Tecnología;
- 6.- Base de datos de la Oficina Española de Patentes y Marcas, Oficina de Vigilancia Biotecnológica;
- 7.- Base de datos del European Secretariat of National Bioindustry Associations, Asociación Española de Bioindustrias.
- 8.- Coombs, J. & Alston, R. (1994): *Products, Companies Research and Organizations. The Biotechnology Directory*, Macmillan Press LTD.
- 9.- Albert, A. Candela M., y Vallejo, C. (1994): “La biotecnología en las empresas españolas y la promoción estatal de la I+D”, en José López, y Aurelia Modrego (eds.), *La biotecnología y su aplicación industrial en España*, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- 10.-Duns & Bradstreet (1998): *50.000 principales Empresas Españolas*, Ed. Duns & Bradstreet.
- 11.-Albert, Armando (1998): *Spanish research groups & enterprises working in biotechnology*, Ed. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

En lo que sigue, y cuando las fuentes de los datos que presentamos sean más de una, utilizaremos los números que aquí las han precedido para identificarlas. Esto nos permitirá ahorrar al lector repeticiones engorrosas que no aportan nada.

Antes de seguir adelante debemos hacer otra precisión. La misma se refiere al hecho de que en la mayoría de las bases de datos y publicaciones consultadas no se distingue a las empresas que utilizan las nuevas biotecnologías de las que utilizan biotecnologías tradicionales.

Es por ello que nosotros tampoco haremos esta distinción; limitándonos a decir que las incluidas en el apartado de empresas innovadoras son las que en mayor medida se relacionan con las nuevas biotecnologías²⁵⁷.

3.2. Indicadores generales

Dentro de este apartado dedicado a los indicadores generales de las empresas españolas relacionadas con la biotecnología veremos algunos de los que ya vimos para los Organismos Públicos de Investigación, pero también algunos nuevos. En concreto trataremos los que se refieren a: la distribución: geográfica, sectorial, por antigüedad, por tamaño de facturación, por número de empleados, la distribución por países de las compañías matrices de empresas biotecnológicas españolas, y de las empresas relacionadas con la biotecnología sin sede en España que distribuyen sus productos a través de empresas con sede en nuestro país.

3.2.1. Distribución geográfica de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997)

Existe una gran concentración geográfica en las empresas relacionadas con la biotecnología ubicadas en España. Dicha concentración la podemos observar mejor en la tabla que presentamos a continuación.

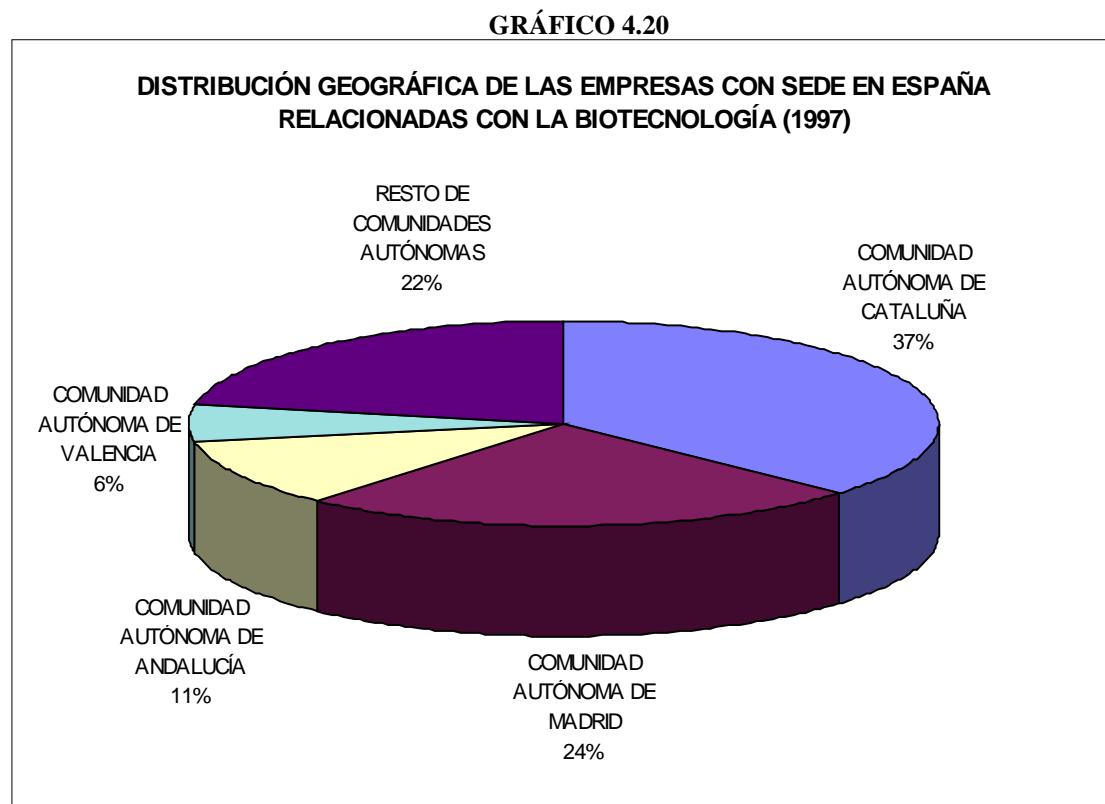
²⁵⁷ No olvidemos al respecto que la cantidad de empresas biotecnológicas ubicadas en España, según el informe anual que sobre la industria biotecnológica europea pública la Unión Europea (European biotech 98), y cuyo autor es la consultoría Ernst and Young, son tan sólo dieciocho. Véase al respecto Malén Ruíz: “Los intereses comerciales han primado sobre los del consumidor en el auge de la biotecnología” <http://www.elpais.es>, 19 de febrero de 1999. Nosotros, al incluir las empresas proveedoras, y las empresas que utilizan en sus procesos de producción biotecnologías tradicionales y no tradicionales, hemos considerado como empresas biotecnológicas un número mucho mayor.

TABLA 4.13.
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS EMPRESAS CON SEDE EN ESPAÑA RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1997)

COMUNIDAD AUTÓNOMA A LA QUE PERTENECEN	NÚMERO DE EMPRESAS
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CATALUÑA	118
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID	78
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA	34
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE VALENCIA	19
RESTO DE COMUNIDADES AUTÓNOMAS	70
TOTAL EMPRESAS	319

FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11

La tabla muestra como es Cataluña la Comunidad Autónoma que ubica en su territorio un mayor número de empresas relacionadas con la biotecnología (118); a esta Comunidad le sigue la de Madrid con 78, y muy alejadas de estas dos Comunidades se sitúan las de Andalucía con 34 y la de Valencia con 19. El resto de Comunidades Autónomas con 70 empresas suma un número incluso menor que las instaladas en Cataluña o en Madrid. Pero veamos con más detalles estos datos en el siguiente diagrama de sectores.



FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11

Como podemos observar entre las Comunidades Autónomas de Cataluña (37%) y Madrid (24%) se ubican el 61% de las empresas con sede en España vinculadas con la biotecnología. Por otro lado, la Comunidad Autónoma de Andalucía con el 11% y la Comunidad Valenciana con el 6% son las únicas, aparte de las dos citadas, que ubican en su territorio más de un 5% de las empresas sitas en nuestro país que tienen que ver con las biotecnologías.

Esta concentración geográfica hace que en Comunidades Autónomas como Castilla-La Mancha o Extremadura, por citar dos ejemplos de los más significativos en cuanto a la importancia de la agricultura para su economía, carezcan de las empresas biotecnológicas autóctonas suficientes para asegurarse no depender totalmente, en un futuro muy próximo, de las multinacionales foráneas;²⁵⁸ o aprovechar en las mejores condiciones los productos y métodos biotecnológicos que en un futuro no muy lejano revolucionarán la agroindustria²⁵⁹.

3.2.2. Distribución sectorial de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997)

Los sectores que incluimos en este apartado corresponden a los segmentos del mercado primario comúnmente aceptados en los análisis internacionales de actividades biotecnológicas. A los mismos se han añadido los importantes segmentos de “aspectos básicos” y “biotecnología y sociedad”. Por otro lado, en los casos en que una empresa estaba en más de un sector se optó

²⁵⁸ Pensamos aquí en los insumos agrícolas que se iniciaron con las semillas mejoradas genéticamente, pero que también abarcan plantas con una mayor resistencia a pesticidas y herbicidas; también pensamos en plantas más resistentes a enfermedades a través de transferencia genética, mejor aclimatadas a condiciones ambientales adversas, que necesitan menos nitrógeno, o que aumentan su productividad, o poseen una característica inducida de gran interés comercial. Como se ve la variedad de aplicaciones biotecnológicas en el campo agrícola es muy amplia y variada. Además, estas aplicaciones poseen una gran potencialidad económica.

²⁵⁹ En cuanto a los escenarios futuros de las aplicaciones e impactos de la biotecnología en la agroindustria puede verse Menrad, Klaus (eds.) (1998) : “Future impacts of biotechnology on agriculture, food production and food processing, a Delphi survey”, Final report to the Commission of the European Union, DG. XII. Todavía en prensa en el momento de escribir esta nota.

por incluirla en aquél en que sus actividades eran más importantes. Pero veamos, en la siguiente tabla, como se produjo dicha distribución Sectorial.

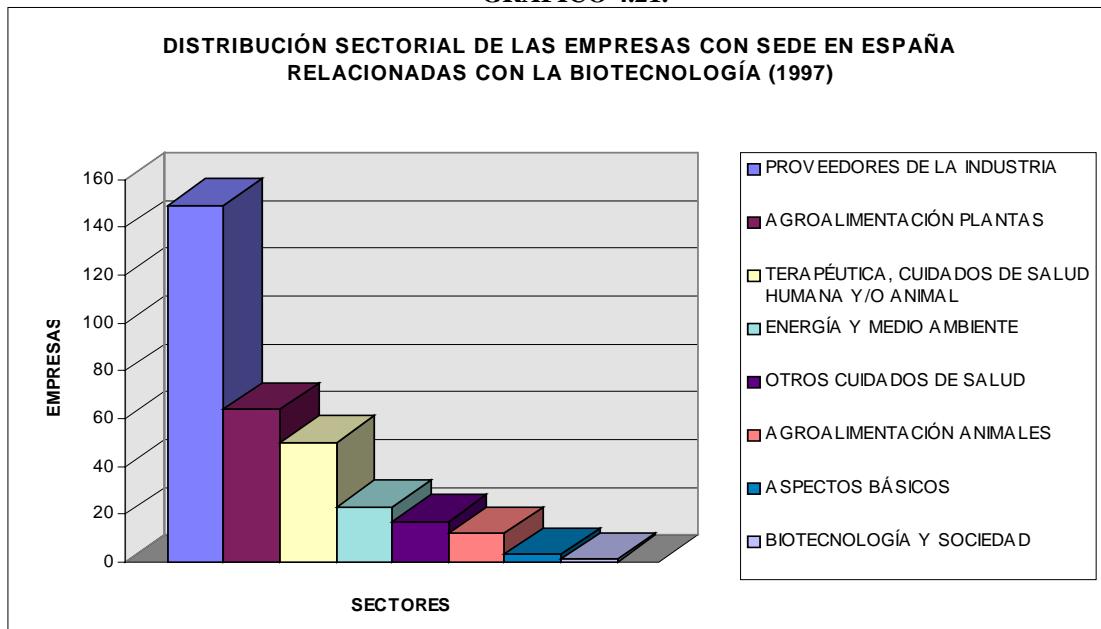
**TABLA 4.14.
DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DE LAS EMPRESAS CON SEDE EN ESPAÑA RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1997)**

SECTOR AL QUE PERTENECEN	NÚMERO DE EMPRESAS
Proveedores de la industria	149
Agroalimentación plantas	64
Terapéutica, cuidados de salud humana y/o animal	50
Energía y medio ambiente	23
Otros cuidados de salud	17
Agroalimentación animales	12
Aspectos básicos	3
Biología y sociedad	1
Total empresas	319

FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11

En la tabla anterior distinguimos, atendiendo al número de empresas que contiene cada sector, tres bloques. El primero de ellos está formado por el “sector proveedores” de la industria con 149 empresas, lo que representa el 46% de las existentes. El segundo por el “sector de agroalimentación plantas” con 64, lo que equivale aproximadamente al 20% del total de empresas considerado, y por el “sector terapéutica, cuidados de salud humana y/o animal” con 50, que representa el 15,6%. Estos dos sectores con 114 empresas equivalen aproximadamente al 35,7% de las consideradas. El tercer grupo está formado por los sectores con menos de 25 empresas. Al mismo pertenecen las industrias vinculadas al “sector energía y medio ambiente” con 23 empresas (7,2%), al “sector otros cuidados de salud” con 17 (5,3%), al “sector agroalimentación animales” con 12 (3,7%), al “sector aspectos básicos” con 3 (0,9%), y al “sector biología y sociedad con 1” (0,3%). Este tercer grupo contiene al 18,3% de las empresas biotecnológicas con sede en España. El diagrama de barras que presentamos a continuación nos resume gráficamente lo aquí comentado.

GRÁFICO 4.21.



FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11

Destacamos del gráfico el gran peso del “sector proveedores de la industria”. Este dato es muy indicativo, puesto que implica que casi la mitad de las empresas biotecnológicas residentes en España (concretamente el 46%) no aplican directamente estas tecnologías en su producción, sino que venden equipos y maquinaria relacionadas con éstas a otras empresas y Centros Públicos de Investigación. En contraste a este gran peso del “sector proveedores de la industria” se encuentra el poquísmo peso de sectores tan importantes como el de “energía y medio ambiente”, “otros cuidados de salud”, “agroalimentación animal”, “aspectos básicos” y “biotecnología y sociedad”.

3.2.3. Distribución por antigüedad de las empresas relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1997)

Hemos incluido en este apartado dos categorías que hemos denominado: “empresas establecidas”, creadas con anterioridad a 1980; y “empresas nuevas, creadas con posterioridad a

1980. Esta distinción nos permite, en cierta medida²⁶⁰, establecer si las empresas biotecnológicas españolas son de nueva creación o, por el contrario, son las ya establecidas las que han adoptado estas tecnologías en su producción. Pero veamos en la siguiente tabla los datos que disponemos al respecto.

**TABLA 4.15.
DISTRIBUCIÓN POR ANTIGÜEDAD DE LAS EMPRESAS RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA UBICADAS EN ESPAÑA (1997)**

TIPO DE EMPRESA POR AÑO DE CREACIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS
EMPRESAS ESTABLECIDAS (CREACIÓN ANTERIOR A 1980)	122
EMPRESAS NUEVAS (CREACIÓN POSTERIOR A 1980)	39
SIN DATOS	158
TOTAL EMPRESAS	319

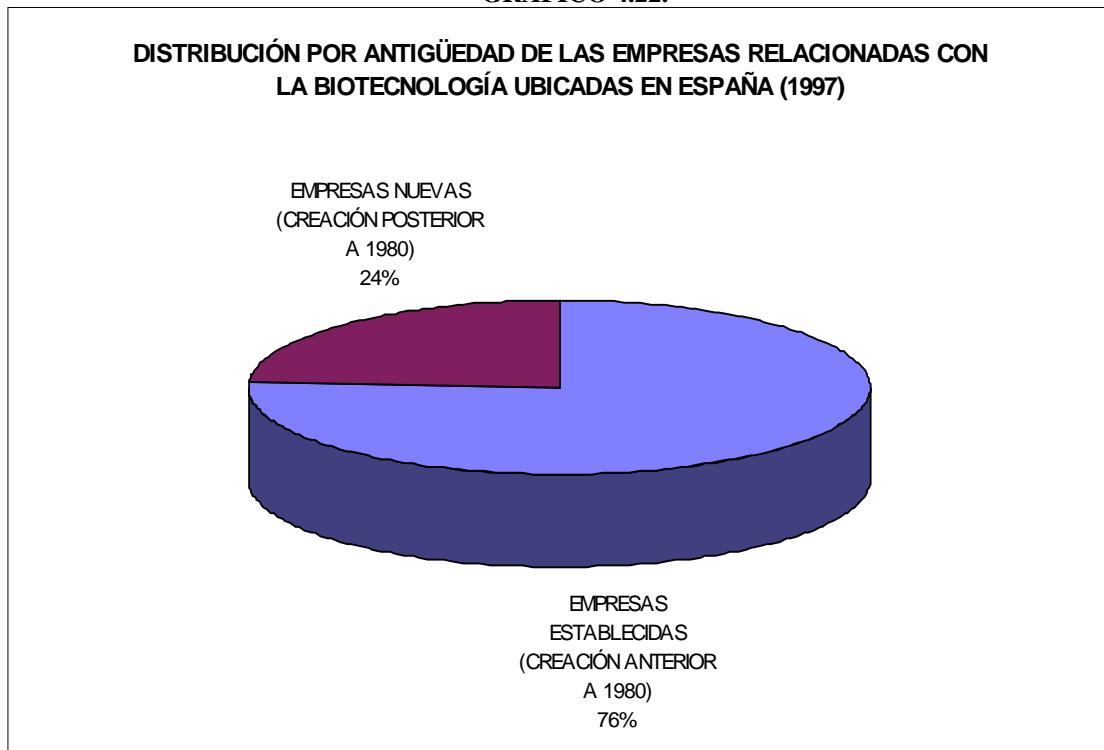
FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

Lo primero que hay que destacar aquí es el gran volumen de empresas de las que no disponemos de datos sobre su año de creación (158)²⁶¹; éstas representan casi al 50% de las contempladas. No obstante, en las que sí disponemos datos (161 empresas, es decir del 50,47%) predominan en gran medida las empresas establecidas con 122 empresas, lo que supone un 75,77%. Las de nueva creación son 39 empresas, que equivale al 24,23%. Lo dicho aquí lo vemos de forma más visual en el diagrama de sectores que a continuación adjuntamos.

²⁶⁰ Lamentablemente no disponemos de datos sobre el año de creación de una buena parte de las empresas consideradas. A pesar de ello hemos considerado interesante incluir este apartado, dado que los datos de que si disponemos nos permiten vislumbrar ciertas tendencias.

²⁶¹ No los disponemos porque estas empresas no aparecen mencionadas en el libro de Duns & Bradstreet: “50.000 principales empresas españolas”, Ed. Duns & Bradstreet, Madrid, 1998. Este libro es el que nos ha servido para encontrar el año de inicio de actividades de las empresas, y por tanto el que nos ha permitido hacer la clasificación que presentamos. Debemos decir también que no optamos por una estrategia más directa; es decir por realizar y distribuir un cuestionario entre las empresas, por lo menos entre las que no teníamos datos, por el elevado coste económico que supondría esto y por la baja frecuencia de contestaciones que esperábamos. Esto último tuvimos ocasión de constatar que ocurría en el estudio realizado por Díaz et al.: “La empresa biotecnológica en España: un primer mapa de un sector innovador”, estudio que más adelante comentaremos.

GRÁFICO 4.22.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

El que las empresas establecidas representen, dentro de los datos de que disponemos, aproximadamente las 3/4 partes de las empresas relacionadas con la biotecnología con sede en España nos indica una tendencia de relativa poca creación de empresas nuevas en este sector. Este dato también nos da cuenta de que la tendencia es que sean las empresas ya consolidadas, con mercados propios y que incorporan a su producción técnicas biotecnológicas, las más numerosas.

3.2.4.Distribución por tamaño de facturación de las empresas relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1997)

En este apartado hemos distribuido las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología según su tamaño. Hemos establecido tres categorías que son: “empresas de tamaño grande”, con una facturación superior a cinco mil millones de Ptas.; “empresas de tamaño mediano”, entre quinientos y cinco mil millones de facturación; y “empresas de tamaño

pequeño, entre cero y quinientos millones de facturación. Pero veamos dicha distribución en la siguiente tabla.

**TABLA 4.16.
DISTRIBUCIÓN POR TAMAÑO DE FACTURACIÓN DE LAS EMPRESAS
RELACIONADAS CON LA BIOTENOLOGÍA UBICADAS EN ESPAÑA (1997)**

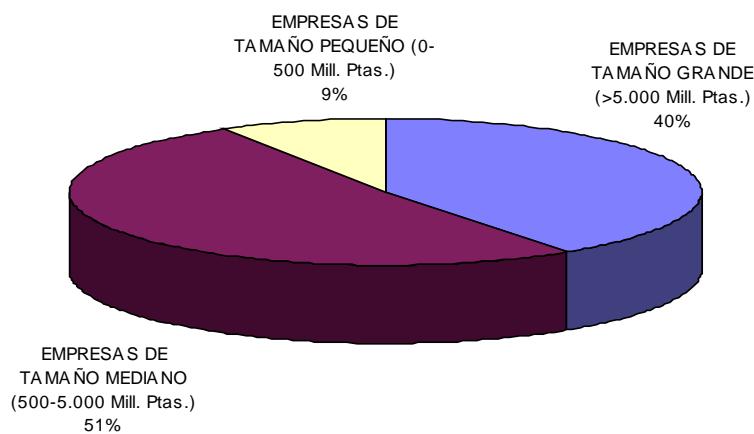
TAMAÑO DE LA EMPRESA POR FACTURACIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS
EMPRESAS DE TAMAÑO GRANDE (>5.000 Mill. Ptas.)	65
EMPRESAS DE TAMAÑO MEDIANO (500-5.000 Mill. Ptas.)	82
EMPRESAS DE TAMAÑO PEQUEÑO (0-500 Mill. Ptas.)	14
SIN DATOS	158
TOTAL EMPRESAS	319

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

Aquí, de nuevo, nos encontramos con la falta de datos de casi un 50% de las empresas contempladas. De los que sí disponemos, son las empresas de tamaño mediano (500-5.000 Mill. Ptas. de facturación) las que más abundan; de éstas existen 82, lo que representa el 50,93%. Las empresas de tamaño grande (>5.000 Mill. Ptas. de facturación) son 65, que supone el 40,37%. Las empresas pequeñas (0-500 Mill. Ptas. de facturación) tienen poco peso, sólo hay 14, que implica 8,69%. El diagrama de sectores que incluimos a continuación nos da una idea más precisa de los datos aquí comentados.

GRÁFICO 4.23.

**DISTRIBUCIÓN POR TAMAÑO DE FACTURACIÓN DE LAS EMPRESAS
RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA UBICADAS EN ESPAÑA (1997)**



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

Lo que más nos llama la atención del gráfico que presentamos es el poco peso de las empresas pequeñas (aproximadamente un 9%), y nos la llama puesto que es en este tipo de empresas donde, en países como Estados Unidos (gracias en buena parte a la financiación a través de capital riesgo, y a la unión de científicos punteros y administradores de empresas con visión de futuro) se han producido los desarrollos más importantes y rentables de estas tecnologías.

3.2.5. Distribución por número de empleados de las empresas relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1997)

En este apartado, de nuevo, y por las mismas razones ya apuntadas, debemos significar que no disponemos datos en este apartado para cerca del 50% de las empresas. Pero veamos a continuación, y en la siguiente tabla, los datos de que disponemos.

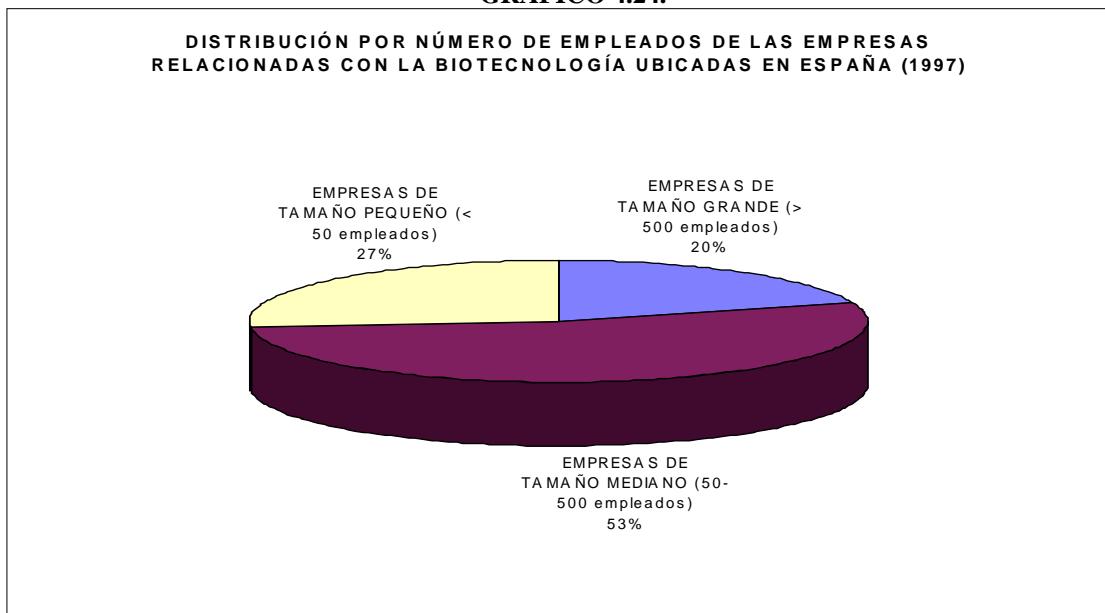
TABLA 4.17.
DISTRIBUCIÓN POR NÚMERO DE EMPLEADOS DE LAS EMPRESAS RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA UBICADAS EN ESPAÑA (1997)

TAMAÑO DE LA EMPRESA POR NÚMERO DE EMPLEADOS	NÚMERO DE EMPRESAS
EMPRESAS DE TAMAÑO GRANDE (> 500 empleados)	32
EMPRESAS DE TAMAÑO MEDIANO (50-500 empleados)	86
EMPRESAS DE TAMAÑO PEQUEÑO (< 50 empleados)	43
SIN DATOS	158
TOTAL EMPRESAS	319

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

De las empresas aquí consideradas son las de tamaño mediano (50-500 empleados) las más abundantes con 86 empresas, lo que representa el 53,41%. De empresas de tamaño pequeño (<50 empleados) hay 43, lo que equivale al 26,70%. Las empresas de tamaño grande (>500 empleados) son 32, es decir el 19,87%. Estos datos los vemos resumidos en el siguiente diagrama de sectores.

GRÁFICO 4.24.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

3.2.6. Distribución por países de las compañías matrices de las empresas con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997)

En este apartado veremos como se distribuyen, por países de origen, las compañías matrices que tienen filiales en España. Pero veamos esta distribución en la siguiente tabla.

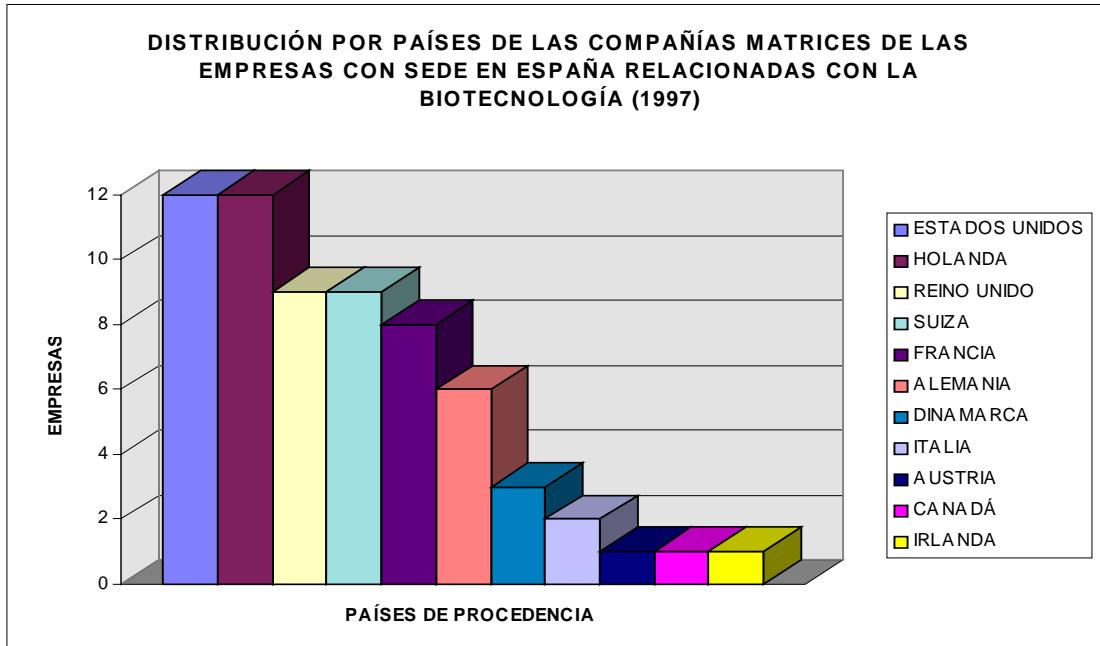
**TABLA 4.18.
DISTRIBUCIÓN POR PAÍSES DE LAS COMPAÑÍAS MATERICAS DE LAS EMPRESAS CON SEDE EN
ESPAÑA RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1997)**

PAÍSES DE ORIGEN DE LA MATRIZ	NÚMERO DE EMPRESAS
ESTADOS UNIDOS	12
HOLANDA	12
REINO UNIDO	9
SUIZA	9
FRANCIA	8
ALEMANIA	6
DINAMARCA	3
ITALIA	2
AUSTRIA	1
CANADÁ	1
IRLANDA	1
TOTAL EMPRESAS MATERICAS	64

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

De las 319 empresas residentes en España vinculadas con la biotecnología hemos obtenido datos para 161, es decir para el 50,47%. De éstas, 64 (aproximadamente el 20%) son filiales de empresas extranjeras. Hay 11 países que tienen empresas relacionadas con la biotecnología que poseen, por lo menos, una filial en España. De países integrantes de la Unión Europea hay 41 empresas matrices (lo que supone el 64,06% de las existentes), Estados Unidos 12 (18,75%), Suiza 9 (14,06%), Austria 1 (1,57%) y Canadá 1 (1,57%). El diagrama de barras que incluimos a continuación nos muestra la importancia de cada país con relación a las empresas biotecnológicas matrices que tienen una filial en España.

GRÁFICO 4.25.



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

Por países; son Estados Unidos y Holanda, con 12 empresas matrices relacionadas con las biotecnologías, los que tienen un mayor número de éstas. Cada uno de ellos supone el 18,75% de las existentes. Reino Unido y Suiza con 9 aportan por separado el 14,06%, Francia con 8 el 12,5%, Alemania con 6 el 9,37%, Dinamarca con 3 el 4,68%, Italia con 2 el 3,12% y Austria, Canadá e Irlanda con 1 el 1,56% respectivamente.

3.2.7. Distribución por países de las empresas relacionadas con la biotecnología sin sede en España que distribuyen sus productos a través de empresas con sede en España (1997)

En este apartado comentaremos la distribución geográfica de los países con empresas relacionadas con la biotecnología que utilizan, por lo menos, una firma residente en España para distribuir sus productos. Aquí, de nuevo, hemos obtenido datos para 161 empresas de las 319 que considerábamos. De las empresas de las que disponemos datos, 25 (aproximadamente el 16%) son distribuidoras de productos biotecnológicos de empresas extranjeras. Las 25 empresas españolas citadas distribuyen productos de 47 empresas extranjeras. Esto es debido a que

algunas empresas españolas distribuyen productos de más de una empresa extranjera. En la tabla siguiente veremos con más detalle la distribución geográfica apuntada.

TABLA 4.19.

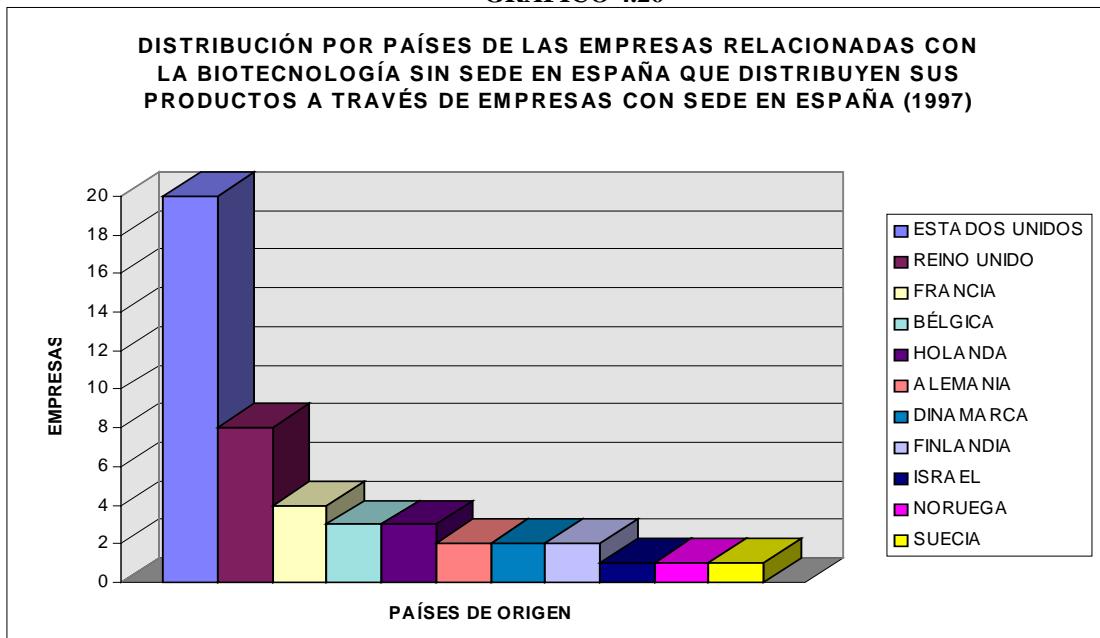
DISTRIBUCIÓN POR PAÍSES DE LAS EMPRESAS RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA SIN SEDE EN ESPAÑA QUE DISTRIBUYEN SUS PRODUCTOS A TRAVÉS DE EMPRESAS CON SEDE EN ESPAÑA (1997)

PAÍSES DE ORIGEN DE LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS	NÚMERO DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS
ESTADOS UNIDOS	20
REINO UNIDO	8
FRANCIA	4
BÉLGICA	3
HOLANDA	3
ALEMANIA	2
DINAMARCA	2
FINLANDIA	2
ISRAEL	1
NORUEGA	1
SUECIA	1
TOTAL EMPRESAS DISTRIBUIDORAS	47

FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

En cuanto a la distribución por países, de las empresas distribuidoras vinculadas con la biotecnología que distribuyen sus productos a través de un representante español, destaca de un modo significativo Estados Unidos con 20 empresas (42,55% de las existentes); aunque de nuevo son los países de la Unión Europea con 22 empresas (46,80%) los que más empresas aportan en este apartado. Finlandia con 2 (4,25%) e Israel, Noruega, Suecia con 1 (2,12% respectivamente) también tienen empresas en este apartado. El diagrama de barras que presentamos a continuación nos ilustra sobre esta por países los datos apuntados.

GRÁFICO 4.26



FUENTE: Elaboración propia a través de datos extraídos de 1-11. Especialmente de Duns & Bradstreet (1998)

Es el Reino Unido con 8 empresas (17,02%) el país de la UE que más aporta; Francia con 4 (8,51%), Bélgica y Holanda con 3 (6,38% respectivamente), Alemania y Dinamarca con 2 (4,25% respectivamente) son países de la UE que también tienen representación en este apartado.

3.3. Indicadores de las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997)

Consideramos empresas innovadoras a aquellas que estaban en 1998 en las bases de datos de los Programas Nacionales de Biotecnología, del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y de otros Programas Sectoriales del Ministerio de Industria y Energía²⁶². En cuanto a los indicadores, incluimos los siguientes: distribución geográfica y sectorial de las empresas innovadoras, distribución geográfica de las Agencias financieras, principales tecnologías usadas por aquéllas.

²⁶² Las empresas aquí recogidas son las incluidas en el libro de Armando Albert citado más arriba.

3.3.1. Distribución geográfica de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1992-1997)

Iniciamos este apartado con una tabla que nos muestra dicha distribución geográfica. La misma nos permitirá comentar con algún detalle dónde se hallan situadas las empresas españolas relacionadas con la biotecnología; al tiempo que constatar si en este aspecto existen diferencias con las empresas no innovadoras.

**TABLA 4.20.
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS EMPRESAS INNOVADORAS Y NO INNOVADORAS CON SEDE EN ESPAÑA RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1997)**

COMUNIDAD AUTÓNOMA	EMPRESAS INNOVADORAS	EMPRESAS NO INNOVADORAS
CATALUÑA	43	75
MADRID	23	55
ANDALUCÍA	29	5
VALECIANA	11	8
RESTO COMUNIDADES AUTÓNOMAS	43	27
TOTAL EMPRESAS	149	170

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Albert (1998)

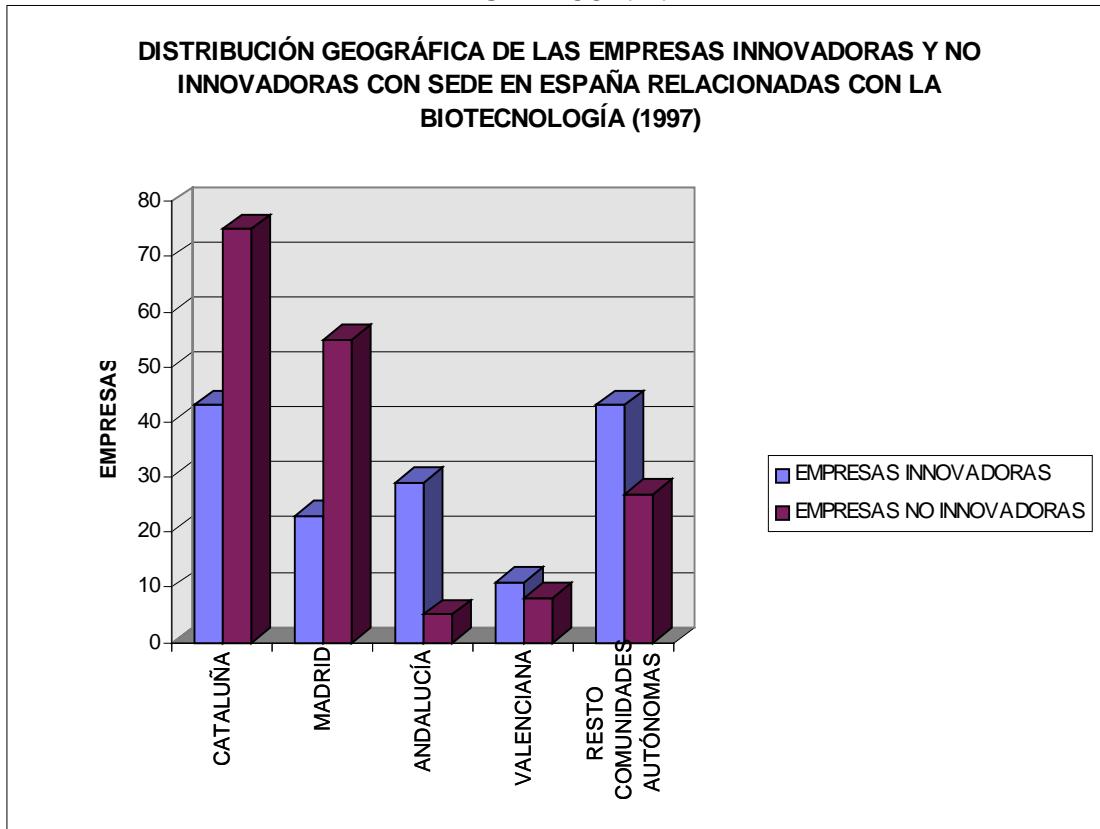
La tabla anterior nos muestra la distribución geográfica de las empresas innovadoras y no innovadoras españolas relacionadas con la biotecnología en 1997. De las primeras había en el año de referencia 149, lo que supone el (46,70%); de las segundas 170, lo que equivale al 53,30%.

La Comunidad Autónoma de Cataluña es la que tenía más empresas innovadoras vinculadas con la biotecnología 43 (el 28,85% de las existentes), y no innovadoras 75 (el 44,11% de éstas); la Comunidad Autónoma de Madrid ocupaba el segundo lugar con 23 empresas innovadoras (15,43%), y 55 empresas no innovadoras (32,35%); la Comunidad Autónoma de Andalucía estaba en tercer lugar con 29 empresas innovadoras (17,05)²⁶³, y cinco empresas no innovadoras (2,94%); en cuarto lugar se situaba la Comunidad Autónoma de Valencia con 11 empresas innovadoras (7,38%), y 8 empresas no innovadoras (4,70%); En el

²⁶³ Porcentaje éste superior al de la Comunidad Autónoma de Madrid.

resto de las Comunidades Autónomas tan sólo existían 43 empresas innovadoras (28,85%)²⁶⁴, y 27 empresas no innovadoras (15,88%)²⁶⁵. El diagrama que presentamos a continuación nos visualiza los datos aquí comentados.

GRÁFICO 4.27.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Albert (1998)

El gráfico nos muestra, aparte de lo ya dicho más arriba, que tan sólo en las Comunidades de Cataluña y Madrid las empresas biotecnológicas no innovadoras superaban en número a las innovadoras. En el resto de Comunidades Autónomas consideradas fueron las empresas biotecnológicas innovadoras las que abundaban más.

²⁶⁴ Cantidad ésta igual a la que tenía por sí sola la Comunidad Autónoma de Cataluña.

²⁶⁵ Porcentaje éste muy inferior al que tenían las Comunidades Autónomas de Cataluña y Madrid.

Sorprende el número tan bajo de empresas biotecnológicas innovadoras ubicadas en la Comunidad de Madrid, máxime cuando es en esta Comunidad Autónoma donde se ubica el porcentaje más alto de CPI españoles relacionados con la biotecnología. Por otro lado, y en franco contraste con este dato, la Comunidad Autónoma de Andalucía presenta un buen número de empresas innovadoras dentro de su territorio²⁶⁶.

Una última consideración se refiere al hecho de que las empresas no innovadoras muestran una concentración mayor (entre las Comunidades Autónomas de Madrid y Cataluña se ubican el 76,46% de éstas) que las empresas innovadoras (las dos Comunidades Autónomas ubican al 44,28%).

3.3.2. Distribución sectorial de las empresas innovadoras y no innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1997)

La distribución Sectorial de las empresas innovadoras y no innovadoras relacionadas con la biotecnología señala, en buena medida, la homogeneidad existente entre los sectores de ambos grupos. Y ello en cuanto al número de empresas biotecnológicas ubicadas en ellos. Existe, sin embargo, una excepción que es la del “sector proveedores de la industria”. En este sector predominan en gran medida las empresas no innovadoras. Para ver con más detalle lo aquí dicho presentamos la siguiente tabla.

²⁶⁶ Creemos que una de las razones fundamentales de ello es la gran importancia que el sector agroalimentario (donde la biotecnología juegan cada día un papel mayor) tiene para esta Comunidad Autónoma.

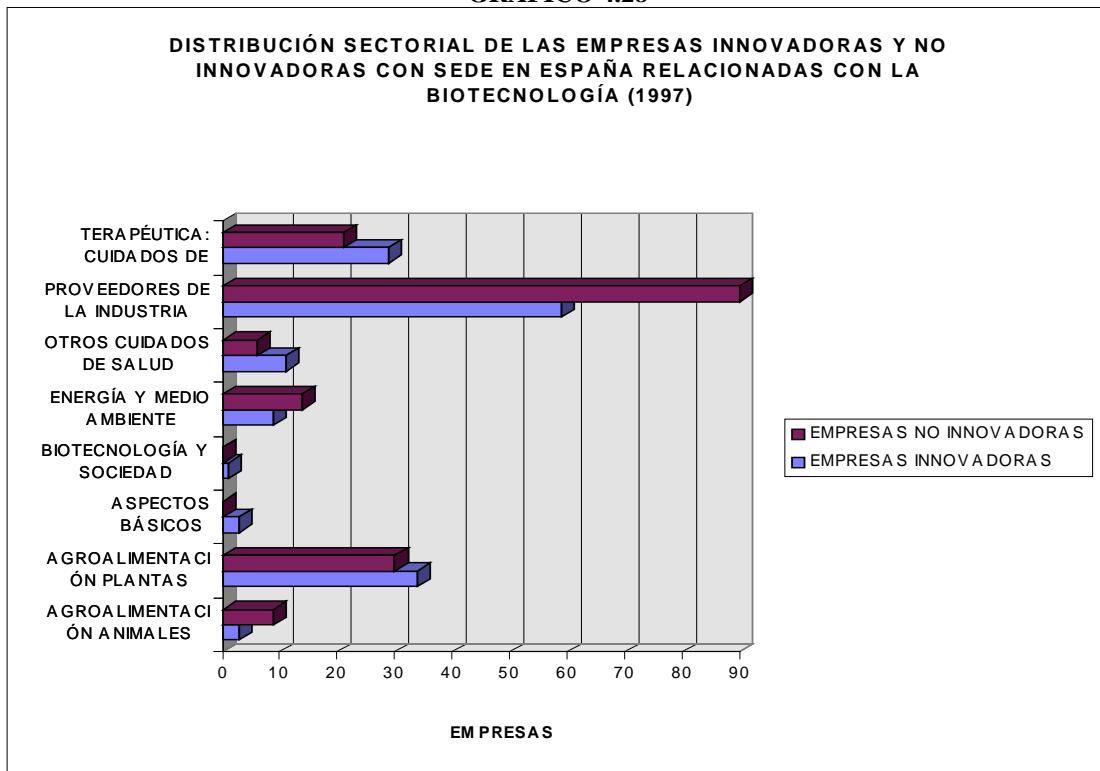
TABLA 4.21.
DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DE LAS EMPRESAS INNOVADORAS Y NO INNOVADORAS CON SEDE EN ESPAÑA RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1997)

SECTORES	EMPRESAS INNOVADORAS	EMPRESAS NO INNOVADORAS
AGROALIMENTACIÓN ANIMALES	3	9
AGROALIMENTACIÓN PLANTAS	34	30
ASPECTOS BÁSICOS	3	0
BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD	1	0
ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE	9	14
OTROS CUIDADOS DE SALUD	11	6
PROVEEDORES DE LA INDUSTRIA	59	90
TERAPÉUTICA: CUIDADOS DE SALUD HUMANA Y/O ANIMAL	29	21
TOTAL EMPRESAS	149	170

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Albert (1998)

Es el “sector proveedores de la industria” donde en 1997 había un mayor número de empresas, 59 empresas innovadoras (39,59% de éstas) y 90 empresas no innovadoras (52,94% de este grupo); al sector señalado le seguían en importancia el “sector agroalimentación plantas” con 34 empresas innovadoras (22,81% de ellas) y 30 empresas no innovadoras (17,64% de las mismas); el “sector de terapéutica: cuidados de salud humana y/o animal” con 29 empresas innovadoras (19,46%) y 21 empresas no innovadoras (12,35%); un tercer grupo lo formaban el “sector otros cuidados de salud”, con 11 empresas innovadoras (7,38%) y 6 no innovadoras (3,52%), y el “sector energía y medio ambiente” con 9 empresas innovadoras (6,04%) y 14 no innovadoras (8,23%); a éstos habría que añadir, aunque tan sólo en el grupo de empresas no innovadoras, el “sector agroalimentación animales” con 9 empresas (5,29%). Por último, y con poca incidencia en el número de empresas innovadoras y nula en las empresas no innovadoras, estaban el sector “agroalimentación animales” y el “sector aspectos básicos” con 3 empresas biotecnológicas innovadoras respectivamente (2,01% cada uno de ellos), y “el sector biotecnología y sociedad” con 1 empresa innovadora (0,67%). El diagrama de barras que presentamos a continuación nos resume de forma gráfica lo dicho hasta aquí.

GRÁFICO 4.28



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11. Especialmente de Albert (1998)

El gráfico, aparte de lo ya comentado, nos permite distinguir con claridad dos grupos. El primero de ellos está constituido por los sectores donde existe un mayor número de empresas biotecnológicas innovadoras, y el segundo por aquellos donde las empresas biotecnológicas no innovadoras predominan. Al primero grupo pertenecen los sectores de: “agroalimentación plantas”, “aspectos básicos”, “biotecnología y sociedad”, “otros cuidados de salud” y “terapéutica: cuidados de salud humana y/o animal”. En el segundo se sitúan los sectores: “agroalimentación animales”, “energía y medio ambiente” y “proveedores de la industria”.

3.4.3. Distribución geográfica de las Agencias financieras de las empresas innovadoras relacionadas con la biotecnología ubicadas en España (1992-1997)

Este apartado nos permitirá visualizar la procedencia de las fuentes de financiación de los proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación en los que participan las empresas españolas relacionadas con la biotecnología. Decir también que aquí no se incluyen los

proyectos que la empresa realiza por ella misma; de ahí que el apartado financiación propia, que debería ser al respecto el que ocupara mayor número de empresas, no ocupe este lugar.²⁶⁷ Pero veamos con más detalle en la siguiente tabla cual fue la distribución geográfica de las agencias financieradoras.

TABLA 4.22.
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS AGENCIAS FINANCIADORAS DE LAS EMPRESAS INNOVADORAS RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA UBICADAS EN ESPAÑA (1992-1997)

AGENCIA FINANCIADORA	NÚMERO DE EMPRESAS
Agencias nacionales	109
Agencias de la Unión Europea	87
Financiación propia	69
Agencias autonómicas	14
Total empresas financiadas	279

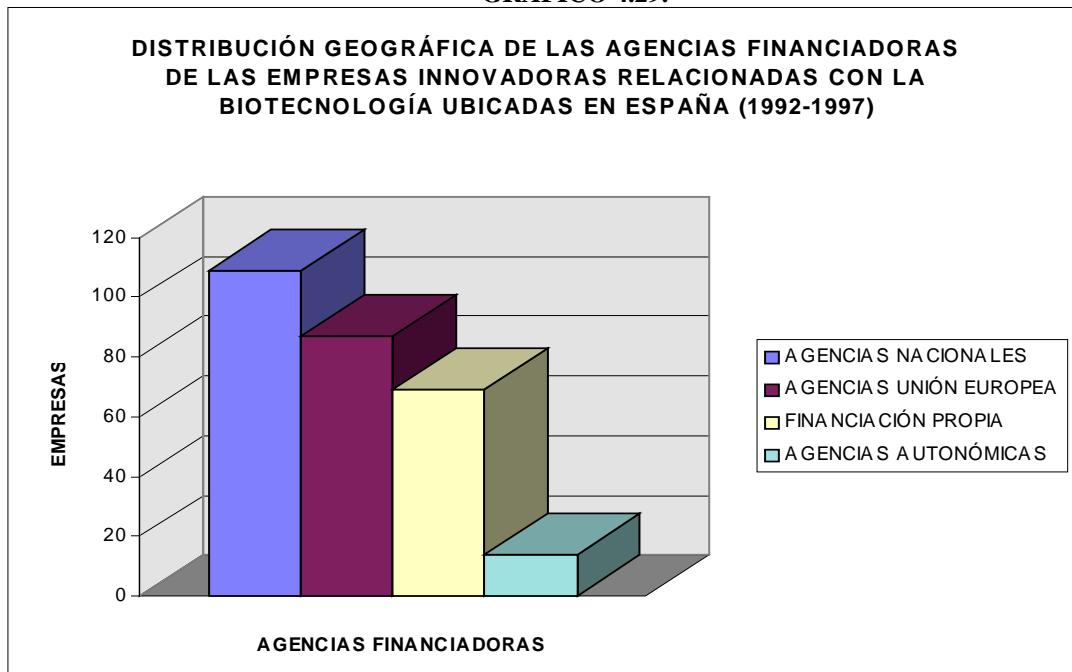
FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

Incluimos en la tabla anterior aquellas empresas que se autofinanciaron o obtuvieron financiación en el período 1992-1997 de diferentes Administraciones públicas nacionales, autonómicas, o de la UE para actividades de Investigación y Desarrollo relacionadas con la biotecnología. Como es obvio, una misma empresa pudo autofinanciarse y/u obtener una o más ayudas de la misma o diferentes Administraciones. En este sentido, cada empresa innovadora ha estado financiada en el período señalado, como media, por 1,87 Agencias financieradoras.

En cuanto a la distribución de las Agencias financieradoras, destaca el número de empresas financiadas por las Agencias nacionales con 109, que representa el 39,06%. Le siguen en importancia: las Agencias de la Unión Europea con 87, que supone el 31,18%; la financiación propia con 69, que es el 24,73%; y por último las Agencias autonómicas con 14, que implican el 5,01%. Pero veamos estos datos con más detalle en el siguiente diagrama de barras.

²⁶⁷ Financiación propia se refiere a proyectos de I+D en los que las empresas aportan financiación conjuntamente con otras Agencias financieradoras. Respecto a la verdadera dimensión de la financiación propia, si en ésta se incluyen los propios proyectos de las empresas que ellas mismas se encargar de financiar, véase Víctor Díaz et al.: “La empresa biotecnológica en España un primer mapa de un sector innovador”, *Documento de trabajo 01-01 del Grupo Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, enero, Madrid, 2001.

GRÁFICO 4.29.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

A destacar del gráfico que presentamos, a parte de lo ya comentado, el gran peso de las Agencias públicas con 210 empresas financiadas, que suponen el 75,26%; frente a la financiación propia con 69 empresas, que representan el 24,74%. Pero esto como ya dijimos se debe a que la fuente de datos utilizada no considera los proyectos propios, es decir los que las empresas financian en su totalidad.

3.3.4. Principales tecnologías usadas por las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología (1992-1997)

En este apartado nos limitaremos a señalar las principales tecnologías biotecnológicas usadas por las empresas relacionadas con la biotecnología con sede en España para el período señalado. Pero veamos cuales fueron, y cual fue su importancia, en la siguiente tabla.

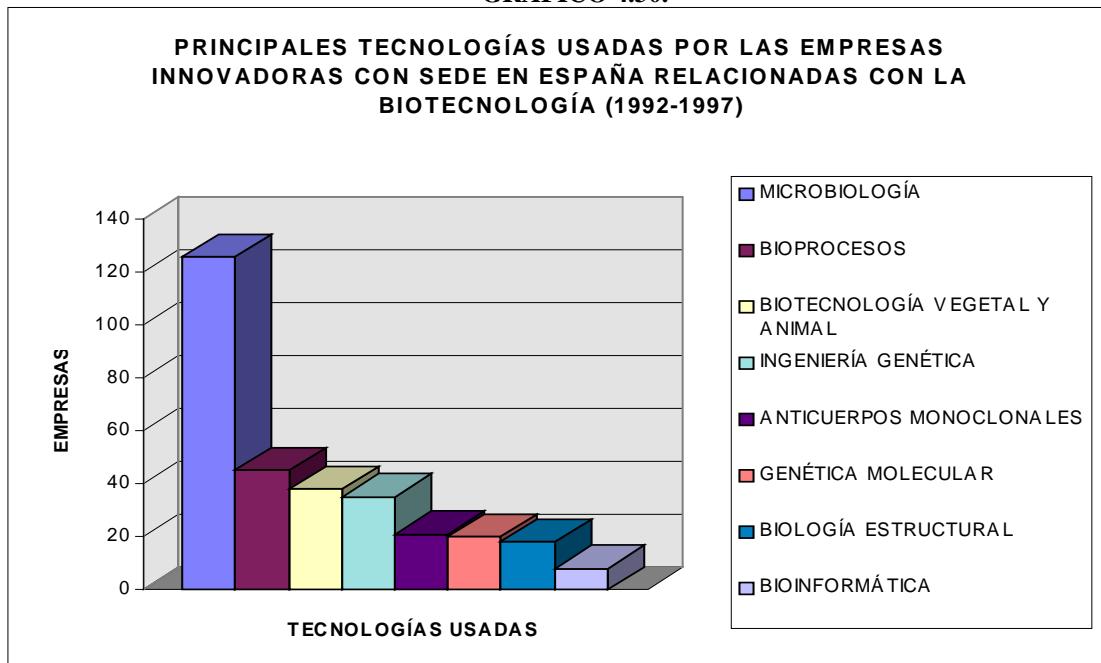
TABLA 4.23.
PRINCIPALES TECNOLOGÍAS USADAS POR LAS EMPRESAS INNOVADORAS CON SEDE EN ESPAÑA RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1992-1997)

TECNOLOGÍAS USADAS	NÚMERO DE EMPRESAS
MICROBIOLOGÍA	126
BIOPROCESOS	45
BIOTECNOLOGÍA VEGETAL Y ANIMAL	38
INGENIERÍA GENÉTICA	35
ANTICUERPOS MONOCLONALES	21
GENÉTICA MOLECULAR	20
BIOLOGÍA ESTRUCTURAL	18
BIOINFORMÁTICA	8
TOTAL TECNOLOGÍAS USADAS	311

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

Destacar que cada empresa utilizó, como media, en el período considerado aproximadamente 2 tecnologías de las señaladas. De las tecnologías usadas, por las empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología durante el período 1992-1997, destacan en gran medida las basadas en microbiología con 126 empresas, que suponen el 40,51%; un segundo grupo en importancia está formado por las tecnologías de bioprocessos con 45 empresas (14,46%), biotecnología vegetal y animal con 38 empresas (12,21%) e ingeniería genética con 35 empresas (11,25%); el tercer grupo en importancia lo forman las tecnologías de anticuerpos monoclonales con 21 empresas (6,75%), genética molecular con 20 empresas (6,43%) y biología estructural con 18 empresas (5,78%); por último, se encuentra la tecnología bioinformática con 8 empresas (2,57%). El diagrama de barras que incluimos a continuación nos muestra de forma más resumida los datos comentados.

GRÁFICO 4.30.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

3.4. La industria española ante la biotecnología²⁶⁸

Lo primero a destacar del estudio que a continuación, aunque solo en parte²⁶⁹, pasaremos a comentar es que en el mismo se distinguen tres clases de empresas biotecnológicas.

Las primeras son las que tienen una dedicación completa, o una dedicación muy importante a la

²⁶⁸ Este apartado lo realizaremos conforme a los resultados de una encuesta del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, realizada entre el 5 de abril y el 28 de mayo de 1999, que tuvo como población de referencia la misma que la nosotros utilizamos en el apartado de empresas innovadoras, es decir, las que figuran en el directorio *Spanish research group & enterprises working in biotechnology 1997*, excepto 2 empresas que cambiaron de dirección y la empresa CEFI GABIOTEC. El análisis de los resultados obtenidos lo podemos encontrar en Díaz, Muñoz y Espinosa: “la empresa biotecnológica en España: un primer mapa de un sector innovador”, Documento de trabajo 01-01, Grupo de Ciencia, Tecnología y Sociedad, Unidad de Políticas Comparadas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, Enero de 2001.

²⁶⁹ Nos centraremos exclusivamente en las empresas completamente dedicadas a las biotecnologías, que son las únicas identificadas en su totalidad en el estudio (146 empresas, con 60 respuestas válidas, es decir el 41,1%), y en las que los resultados de la encuesta están bajo límites de confianza estadísticamente aceptables (95,5%, ± 2 sigma). Tampoco vamos a comentar todos los datos obtenidos en esta encuesta, y que en buena parte ya hemos visto en el apartado anterior. Bástenos decir que, pese a pequeñas diferencias observadas, diferencias que no afectan al conjunto de lo dicho, existe coincidencia entre lo comentado *ut supra* y los resultados obtenidos en la encuesta señalada. No queremos, sin embargo, no dejar de decir algo del otro tipo de empresas, de ahí que pese a los límites que nos hemos impuesto, y que aquí mismo hemos señalado, hemos incluido una breve referencia definitoria, tipológica y comparativa de las mismas.

biotecnología, y se caracterizan por: estar comprometidas con los nuevos avances; por su clara apuesta por la innovación científica y tecnológica, que se manifiesta en su participación en los Programas de I+D; y sus sectores más representativos son la sanidad humana y animal, la agricultura y la alimentación. Las segundas son empresas con una dedicación parcial, y no principal, en biotecnología, y se caracterizan por: no ser productores, sino transformadores y/o comercializadores de productos derivados de las técnicas modernas; y su sector principal es el agroalimentario. Las terceras son usuarias de la biotecnología que se caracterizan por: operar exclusivamente en el sector de la alimentación; ser usuarias finales de productos o procesos elaborados por el primer, o como excepción, segundo grupo; y forman parte del último eslabón de producción, es decir, se hallan próximas al distribuidor o al consumidor final. Todas este tipo de empresas, sin embargo, tienen características comunes que es preciso destacar: reconocen la importancia de la innovación; del valor estratégico de los recursos humanos cualificados; del establecimiento de relaciones con los Centros Públicos de Investigación; y en que existen factores que limitan el desarrollo empresarial como los altos costes de la innovación y la incertidumbre en los resultados a obtener, debida principalmente a un entorno de reacciones sociales complejas, y en muchas ocasiones desfavorables, y a reglamentos o normas legales confusas.

Las empresas completamente dedicadas a la biotecnología (que nosotros vamos a llamar como hemos venido haciendo hasta ahora: empresas innovadoras) tienen un fuerte compromiso con la innovación, innovación que entienden como mecanismos de cambio en procesos o productos, y que desarrollan a través nuevas estrategias y/o tecnologías que incorporan. Esta innovación ha aportado, según la opinión de las propias empresas expresada en la encuesta que estamos comentando, un incremento de la facturación y la exportación para el 25% de ellas, en la facturación para el 11%; y para el 39% el impacto económico ha sido nulo; y el 25% restante no sabe o no se pronuncia al respecto. En cuanto a la inversión en I+D efectuada: el 91% de las empresas innovadoras declaran invertir en Investigación y Desarrollo, el 75% en gasto de

adquisición de maquinaria y equipo, el 54,5% en gastos externos a la Investigación y Desarrollo, y el 46,6% en otros gastos²⁷⁰, el 31,8% en comercialización de nuevos productos, el 22,7% en diseño de ingeniería industrial, y el 18,2% en adquisición de tecnología inmaterial. En esta innovación de las empresas biotecnológicas innovadoras la participación en Programas Nacionales, sobre todo, y de la Unión Europea en Investigación y Desarrollo juega un papel importante. Respecto a las innovaciones tecnológicas realizadas por las empresas innovadoras destacan las efectuadas en productos mejorados que se fabrican por las biotecnologías (59,5%), la introducción de nuevos productos (45,2%), y los productos ligeramente modificados o sin alterar (31,1%); en las no tecnológicas destacan las nuevas orientaciones estratégicas (40,5%) y el cambio de la estructura organizativa (35,7%). Los motivos alegados para innovar por este tipo de empresas son la mejora de la calidad de los productos, la extensión de sus gamas, y el aumento o mantenimiento de la cuota de mercado. Decir también que el 80% de las empresas ha realizado innovaciones en colaboración con Organismos Públicos de Investigación y Universidades españolas²⁷¹. La innovación de estas empresas innovadoras en biotecnología no se ha basado completamente en su I+D propia o en colaboración con otras Instituciones. La compra de equipos y la I+D contratada fuera de la empresa también se han empleado como forma de innovar procesos y productos en estas empresas. Por último, los factores condicionantes que dificultan las actividades innovadoras, por orden de importancia, que citan estas empresas son económicas, políticas y legislativas. De las primeras destacan: el elevado coste de las actividades de Innovación en general, y de I+D en particular; que la obtención de rentabilidad sea a largo plazo, la dificultad de encontrar financiación, que incluye la falta de capital riesgo en esta área y la falta de apoyo de las entidades financieras tradicionales; la incertidumbre respecto al propio mercado; la oposición de grupos de presión que se oponen a los Organismos Genéticamente Modificados; los sensacionalismos de los medios de comunicación respecto a estas tecnologías de la vida; la ausencia de una auténtica cultura

²⁷⁰ En éstos se incluye la formación.

²⁷¹ Aunque algunas de estas empresas también tienen proyectos de I+D que realizan en solitario. De ahí que el 57% de éstas hayan realizado desarrollo de nuevos productos de forma interna.

investigadora e innovadora en nuestro país; y la ausencia de personal preparado y que sea competitivo en las empresas. Las dificultades políticas que señalan se centran en: la obtención de incentivos fiscales y subvenciones a las empresas innovadoras; la posibilidad de concurrir a los Programas de I+D en igualdad de condiciones que los Organismos Públicos de Investigación y las Universidades; y que se establezcan convocatorias públicas de proyectos en Investigación y Desarrollo dirigidos a empresas o agrupaciones sectoriales; la potenciación a través de incentivos de la interacción entre Organismos Públicos de Investigación y Universidades con las empresas innovadoras. Las dificultades legislativas mencionadas son: las reformas de la Ley 115/1994 y Real Decreto 951/1997, a fin de que la evaluación de riesgos de los Organismos Genéticamente Modificados, previa a la comercialización, sea realizada con las menos trabas administrativas posibles; y la modificación de la Ley de patentes, a fin de que resulte más económico y fácil obtener una patente. Por último, con relación a los factores que favorecen una mayor actividad innovadora y de Investigación y Desarrollo, estas empresas biotecnológicas mencionan: la participación en proyectos de I+D con los Organismos Públicos de Investigación; el apoyo de las Administraciones públicas a la hora de incentivar a las empresas que investigan; la participación de entidades en la modalidad de capital riesgo; los incentivos en la contratación de personal cualificado, titulados superiores, para la realización de las tareas de Investigación y Desarrollo; El desarrollo de Programas de formación y capacitación basados en las necesidades del sector; y el apoyo de las Administraciones en la creación de nuevas empresas biotecnológicas.

4. Comparación de la estructura pública y privada de la biotecnología en España (1997)

En este apartado comparamos la estructura pública y privada de la biotecnología en España. En este sentido, se aportaran datos sobre la distribución Sectorial y geográfica, tanto de los CPI, como de las empresas biotecnológicas, en el año 1997. Además, comentaremos la distribución de las Agencias financieras y las principales tecnologías usadas por los CPI y

empresas innovadoras con sede en España relacionadas con la biotecnología en el período 1992-1997.

4.1. Distribución sectorial y geográfica de los Centros Públicos de Investigación y las empresas con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1997)

A continuación presentamos un apartado comparativo de los CPI y las empresas con sede en España relacionados/das con la biotecnología en 1997, tanto en su dimensión sectorial como en su dimensión geográfica. Pero veamos al respecto la siguiente tabla.

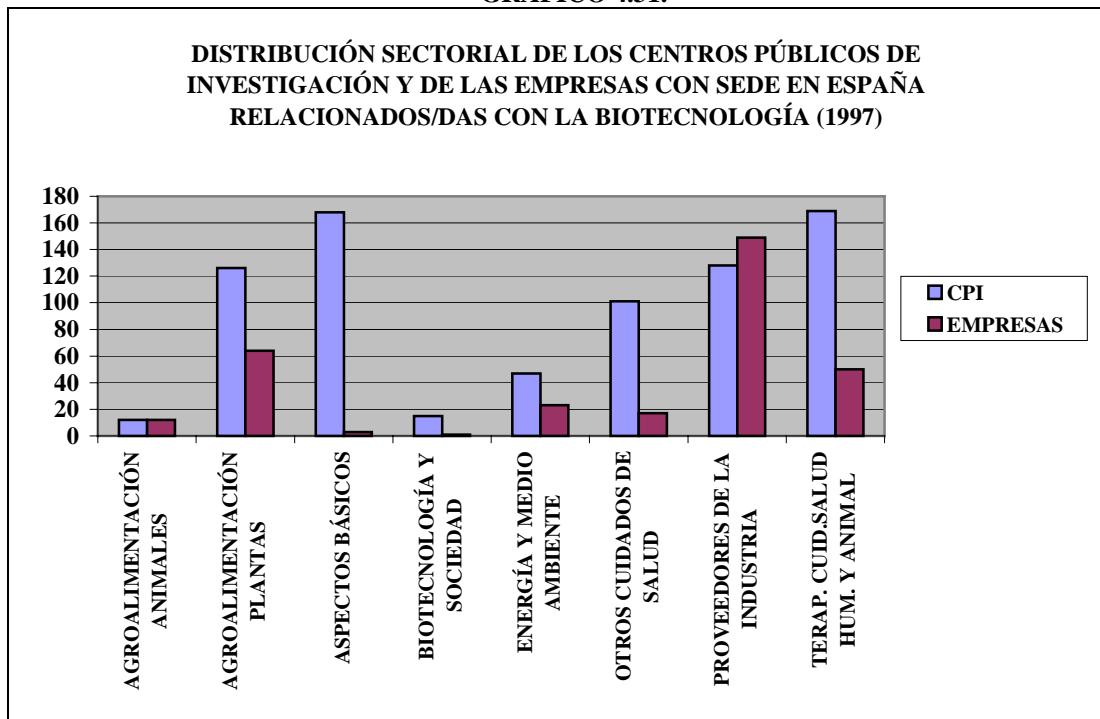
**TABLA 4.24.
DISTRIBUCIÓN SECTORIAL Y GEOGRÁFICA DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN Y DE LAS EMPRESAS CON SEDE EN
ESPAÑA RELACIONADOS/DAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1997)**

SECTORES	COMUNIDADES AUTÓNOMAS										TOTAL SECTORES	
	ANDALUCIA		CATALUNA		MADRID		COMUNIDAD VALENCIANA		RESTO COMUN AUTON			
	CENTROS PÚBLICOS INVESTIG.	EMPRESAS	CENTROS PÚBLICOS INVESTIG.	EMPRESAS	CENTROS PÚBLICOS INVESTIG.	EMPRESAS	CENTROS PUBLICOS INVESTIG.	EMPRESAS	CENTROS PÚBLICOS INVESTIG.	EMPRESAS	CENTROS PÚBLICOS Y NVESTIG.	EMPRESAS
AGROALIMENTACIÓN ANIMALES	1	1	2	6	4	1			5	4	12	12
AGROALIMENTACIÓN PLANTAS	29	14	16	13	29	7	30	7	22	23	126	64
ASPECTOS BÁSICOS	19	2	36		68	1	10		35		168	3
BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD			5		3	1	1		6		15	1
ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE	5	1	8	7	15	9	5	3	14	3	47	23
OTROS CUIDADOS DE SALUD	17	3	27	7	31	4	11		15	3	101	17
PROVEEDORES DE LA INDUSTRIA	21	12	21	63	38	35	9	9	39	30	128	149
TERAP. CUID.SALUD HUM. Y ANIMAL	8	1	40	22	85	20	4		32	7	169	50
TOTAL COMUNIDADES AUTÓNOMAS	100	34	155	118	273	78	70	19	168	70	766	319

FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11

A destacar de la tabla que presentamos la gran diferencia, en cuanto a tamaño, entre el sector público (766 CPI) y el sector privado (319 empresas). Este dato es muy significativo respecto a la orientación más básica que práctica de la biotecnología española. Los dos diagramas de barras que presentamos a continuación nos muestran gráficamente las diferencias Sectoriales y geográficas existentes, en cuanto a número, entre los CPI y las empresas con sede en España.

GRÁFICO 4.31.



FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11

La comparación Sectorial entre el sector público y el sector privado español relacionado con la biotecnología muestra que en todos los sectores hay más CPI que empresas, excepto en el de “proveedores de la industria” (donde existen 21 empresas más que Centros Públicos de Investigación, 149 por un lado y 128 por otro); y en “agroalimentación animales” (donde existe el mismo número de empresas que de Centros Públicos de Investigación, 12).

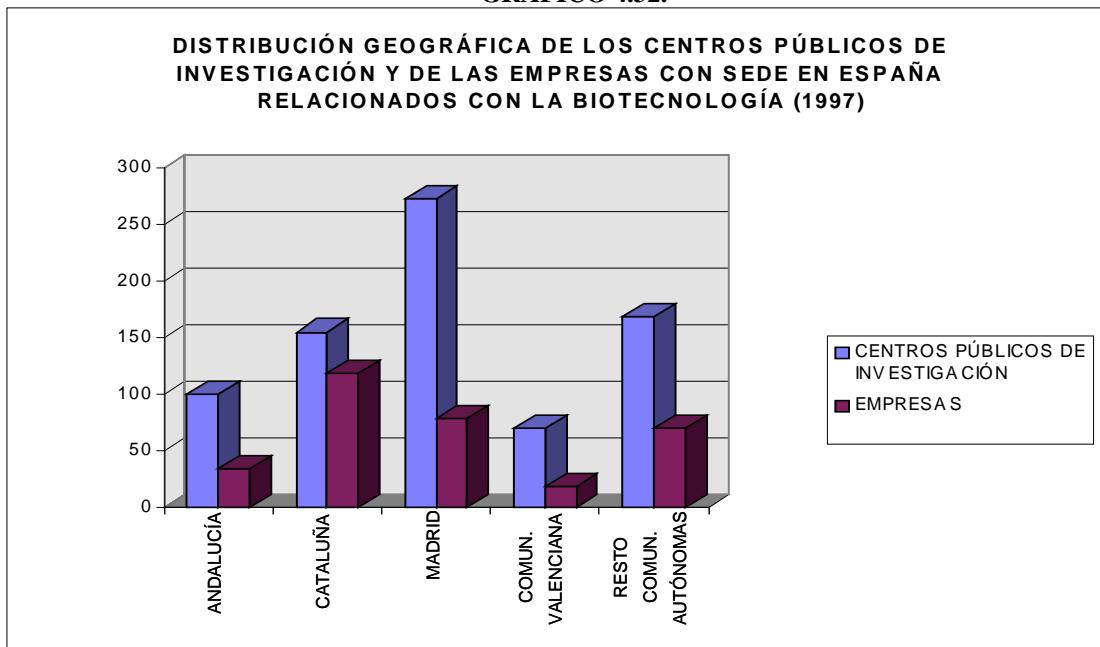
Mientras que los CPI (168) tienen un gran peso en el “sector aspectos básicos” la presencia de las empresas (3) es casi nula. Ello no es de extrañar si tenemos en cuenta que éste es el sector donde se encuadra por excelencia la investigación básica. En el “sector terapéutica, cuidados de salud humana y animal” los CPI (169) son mucho más numerosos que las empresas (50). Ello es debido, según nuestro criterio, a razones políticas que vinculan la promoción, previsión, mantenimiento y restablecimiento de la salud de los españoles a Instituciones públicas. En este mismo caso se encuentra el “sector otros cuidados de salud” donde los CPI (101) superan en mucho a las empresas (17).

Un segundo bloque donde las diferencias son menores, aunque no despreciables, lo configura el “sector agroalimentación plantas” con 126 CPI y 64 empresas. Esta diferencia obedece, por un lado, a que son pocas las empresas de nuestro país que perteneciendo a este sector han apostado de una manera clara por la implantación de las nuevas biotecnologías y, por otro, a que el sector público ha financiado con cierta prioridad Programas biotecnológicos de investigación básica en agroalimentación y plantas.

Los sectores donde existen menos diferencias, en cuanto a número, son el “sector energía y medio ambiente” con 47 CPI y 23 empresas, y el “sector biotecnología y sociedad” con 15 CPI y 1 empresa. En ambos sectores tanto el número de CPI como de empresas es bastante pequeño. Lo que posibilita, sin duda, que las diferencias no sean muy grandes en cuanto número; aunque sí en porcentaje, y siempre a favor de los CPI.

Veamos, seguidamente, las diferencias geográficas existentes entre el sector público y el sector privado español relacionado con la biotecnología. Para presentar las mismas utilizaremos el siguiente diagrama de barras.

GRÁFICO 4.32.



FUENTES: Elaboración propia a través de los datos extraídos de 1-11

La comparación geográfica del sector público y privado español relacionado con la biotecnología muestra en su conjunto, para 1997, que por cada 2,40 CPI hay una empresa. Este dato muestra bien a las claras que en España el sector público biotecnológico era para ese año mucho mayor que el sector privado. Los mayores desequilibrios, en cuanto a la relación entre número de CPI y empresas, se producen en la Comunidad Autónoma de Valencia donde por cada 3,68 de los primeros existe 1 de los segundos. La Comunidad Autónoma de Madrid con 3,5 CPI por cada empresa también muestra un gran desequilibrio favorable a los primeros. Este hecho es debido a que, como ya dijimos más arriba, el sector público de ciencia y tecnología español relacionado con la biotecnología se concentra, en buena medida, en Madrid. Sorprende, sin embargo, que en esta Comunidad el número de empresas vinculadas con la biotecnología sea relativamente tan pequeño (78). La Comunidad Autónoma de Andalucía muestra un desequilibrio un poco menor, ya que por cada 2,94 CPI hay 1 empresa. La Comunidad Autónoma de Cataluña es la que muestra una mejor distribución puesto que por cada 1,31 CPI existe 1 empresa. El resto de Comunidades Autónomas en su conjunto se comporta en los mismos términos que el global nacional. Es decir, por cada 2,40 CPI hay una empresa.

4.2. Distribución de las Agencias financieradoras de los Centros Públicos de Investigación y de las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1992-1997)

Presentamos a continuación una visión conjunta de cuales fueron las Agencias financieradoras de los CPI y las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología en el período 1992-1997. Además, mostramos numéricamente cuantos CPI o empresas financió cada una de las Agencias Pero veamos esto más detalladamente en la siguiente tabla.

TABLA 4.25.
DISTRIBUCIÓN DE LAS AGENCIAS FINANCIADORAS DE LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN Y DE LAS EMPRESAS INNOVADORAS CON SEDE EN ESPAÑA RELACIONADAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1992-1997)

AGENCIAS FINANCIADORAS	CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN	EMPRESAS
AGENCIAS NACIONALES	955	109
AGENCIAS UNIÓN EUROPEA	593	87
AGENCIAS AUTONÓMICAS	131	14
OTRAS AGENCIAS FINANCIADORAS	118	0
EMPRESAS	47	69
TOTAL FINANCIACIONES DE CPI Y EMPRESAS ²⁷²	1844	279

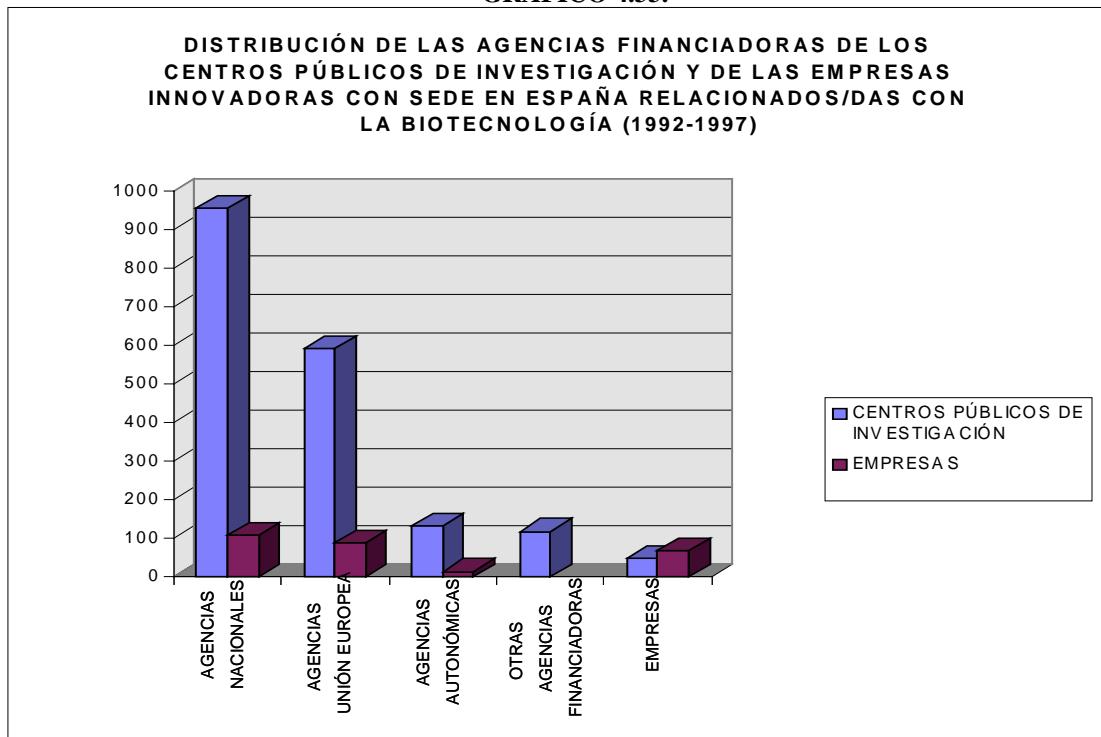
FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

La tabla nos muestra que el número de financiaciones de los CPI biotecnológicos españoles financiados es muy superior al de las empresas. En este sentido, por cada 6,60 financiaciones de CPI, en el período considerado, hubo 1 financiación en empresa. Por otra parte, sólo cuando la Agencia financiadora es una empresa el número de empresas financiadas es superior al de los CPI. Por otra parte, mientras cada Centro fue financiado, como media, por 2,40 Agencias financieras; las empresas innovadoras lo fueron por 1,81²⁷³. Estos datos nos muestran la clara voluntad del Sistema Público de Ciencia y Tecnología español y europeo, así como de las Fundaciones públicas y privadas, de promover la I+D en biotecnología. Además nos señalan que los CPI y las empresas innovadoras españolas existentes en esta área de conocimiento son capaces de competir y conseguir recursos del Sistema Público español, del europeo, y de Fundaciones públicas y privadas nacionales y extranjeras, e incluso de empresas. El gráfico que incluimos a continuación nos muestra gráficamente lo que venimos comentando.

²⁷² Tanto los CPI (766) como las empresas innovadoras (149) pueden haber recibido en el período considerado más de una financiación por parte de una o varias Agencias financieras. De ahí que el número de CPI (1844) y empresas innovadoras (279) que aparecen en el total de financiaciones sea muy superior al de los existentes.

²⁷³ Esto no implica que las Agencias financieras sean obligatoriamente distintas, ya que un mismo Centro puede haber sido financiado en más de una ocasión por la misma Agencia; máxime cuando el período considerado es de 6 años.

GRÁFICO 4.33.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

4.3. Principales tecnologías usadas por los Centros Públicos de Investigación y las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología (1992-1997)

Presentamos aquí las principales tecnologías biotecnológicas usadas por los Centros Públicos de Investigación y las empresas innovadoras con sede en España relacionados/das con la biotecnología en el período 1992-1997. Pero veamos con más detalle cuales fueron estas tecnologías, y cual su importancia medida por el número de CPI o empresas innovadoras que las hicieran servir. La presente tabla nos permitirá analizar mejor este apartado.

TABLA 4.26.
PRINCIPALES TECNOLOGÍAS USADAS POR LOS CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN Y LAS EMPRESAS INNOVADORAS CON SEDE EN ESPAÑA RELACIONADOS/DAS CON LA BIOTECNOLOGÍA (1992-1997)

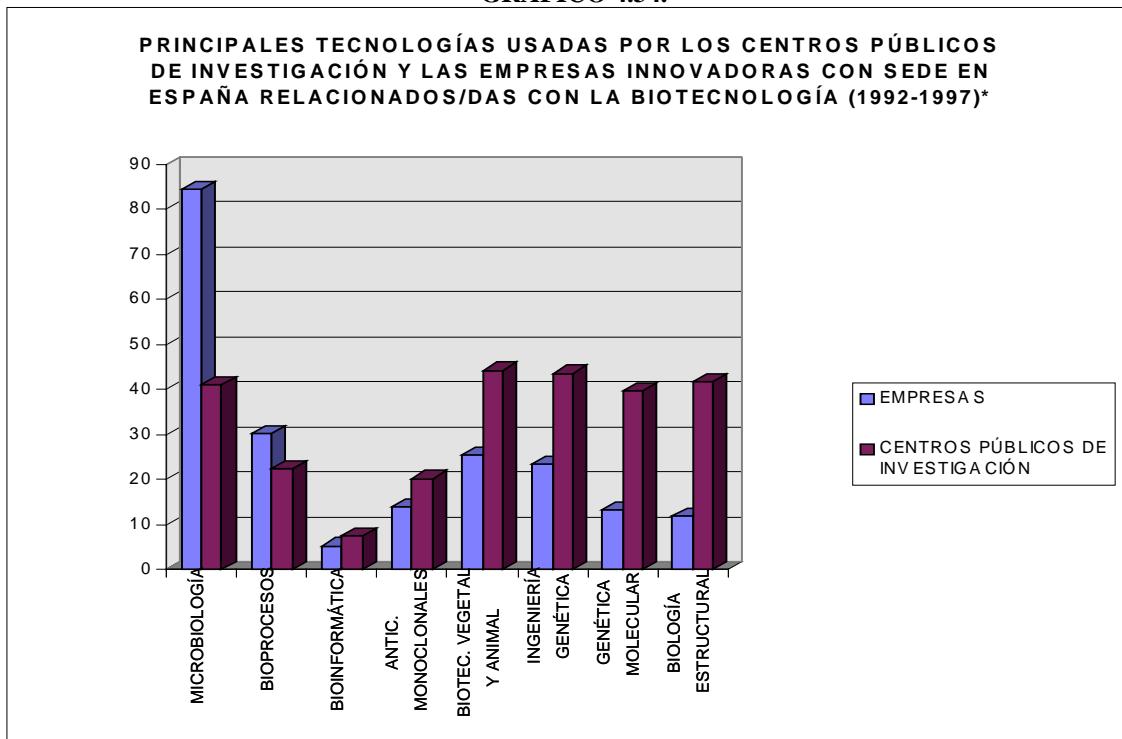
TECNOLOGÍAS USADAS	CENTROS DE INVESTIGACIÓN	NÚMERO DE EMPRESAS
BIOTECNOLOGÍA VEGETAL Y ANIMAL	340	38
INGENIERÍA GENÉTICA	334	35
BIOLOGÍA ESTRUCTURAL	320	18
MICROBIOLOGÍA	315	126
GENÉTICA MOLECULAR	304	20
BIOPROCESOS	172	45
ANTICUERPOS MONOCLONALES	155	21
BIOINFORMÁTICA	58	8
TOTAL TECNOLOGÍAS USADAS ²⁷⁴	1.998	311

FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

Antes de iniciar los comentarios de la tabla que presentamos debemos indicar que en el período señalado había 5,14 CPI relacionados con la biotecnología por cada empresa innovadora. Hecho este inciso, los datos nos muestran que las 149 empresas biotecnológicas innovadoras de nuestro país usaron 311 tecnologías (lo que equivale a una utilización de 2,08 de éstas). Los 766 CPI usaron 1998 tecnologías (lo que supone un uso de 2,60 de las mismas). Como se ve la diferencia no es mucha. Ahora bien, si se considera dicha diferencia caso por caso encontramos que las empresas innovadoras utilizaron más las tecnologías relacionadas con la microbiología (84,56% frente al 41,12%) y los bioprocessos (30,20% frente al 22,45%), se situaron en términos parecidos de utilización en las tecnologías vinculadas con bioinformática (5,36% frente al 7,57%) y anticuerpos monoclonales (14,09% frente al 20,23%), se alejaron un poco en biotecnología vegetal y animal (25,50% frente al 44,38%) e ingeniería genética (23,48% frente al 43,60%), y se alejaron mucho en la utilización de las tecnologías que tienen que ver con la genética molecular (13,42% frente al 39,68%) y biología estructural (12,08% frente al 41,77%). Pero veamos esto con más detalle en el siguiente gráfico.

²⁷⁴ Como es obvio, cada CPI o empresa puede haber usado en el período considerado más de una técnica. De ahí que el número de CPI que aparecen en este apartado sea superior a los existentes realmente (766), también el número de empresas que aparecen es superior al de las innovadoras existentes (149) y que mencionábamos más arriba, aunque no al número total de empresas relacionadas con la biotecnología (319).

GRÁFICO 4.34.



FUENTE: Elaboración propia a través de los datos extraídos de Albert (1998)

*Los datos corresponden a los porcentajes de uso real de las tecnologías²⁷⁵

Los datos aportados en el gráfico nos permiten también elaborar una clasificación de las biotecnológicas más usadas, tanto por los CPI como por las empresas innovadoras relacionados/das con la biotecnología. Por lo que se refiere a los primeros existen, por utilización, tres grupos claramente diferenciados. En el primer grupo, constituido por tecnologías usadas por alrededor del 40% de los CPI, se encuentran: la biotecnología vegetal y animal (44,38%), la ingeniería genética (43,60%), la biología estructural (41,77%), la microbiología (41,12%) y la genética molecular (39,68%). En el segundo grupo, compuesto por tecnologías utilizadas por alrededor del 20% de los CPI, están: los bioprocessos (22,45%) y anticuerpos monoclonales (20,23%). En el último grupo se halla, tan sólo, la bioinformática (7,57%). En cuanto a las empresas innovadoras podemos distinguir cuatro grupos. El primero de ellos, y muy destacado de los demás en cuanto a su utilización, está compuesto por: la

²⁷⁵ Para ello, hemos procedido de la siguiente forma: hemos dividido el número de CPI o empresas innovadoras que usan cada tecnología por el número existente de éstos/éstas, y el resultado lo hemos multiplicado por cien. De esta forma hemos obtenido un porcentaje (que es el que representamos en el gráfico) que da idea del uso real de cada tecnología por los CPI y empresas innovadoras.

microbiología (84,56%). En el segundo grupo se encuentran: los bioprocessos (30,20%), la biotecnología vegetal y animal (25,50%) y la ingeniería genética (23,48%). En el tercer grupo están: los anticuerpos monoclonales (14,09%), la genética molecular (13,42%) y la biología estructural (12,08%). El último grupo lo forma únicamente la bioinformática (5,36%).

De lo dicho en el apartado anterior resaltar que mientras los CPI españoles relacionados con la biotecnología muestran diversidad en el uso de las principales tecnologías; los datos de las empresas señalan una gran concentración en torno a la microbiología, y aunque a mucha distancia, los bioprocessos.²⁷⁶

CAPÍTULO QUINTO

DEBATES PÚBLICOS SOBRE LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS

²⁷⁶ Recordemos que el análisis de la encuesta del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de 1999 realizado por Díaz, Muñoz y Espiona señalaba que en las empresas en las que se obtuvo respuesta (60) la biotecnología moderna se utilizaba entre el 65% y el 75%. Esto parece indicar que este grupo consideró como nuevas biotecnologías las relacionadas con la microbiología y bioprocessos, precisamente las biotecnologías que, a nuestro entender, se hallan más próximas a las que tradicionalmente ha venido utilizando la industria alimentaria.

1. Introducción

En este capítulo mostramos cuatro de los debates más importantes que se desarrollan en torno a las nuevas biotecnologías; y en los que las ciencias sociales en general, y la sociología en particular, participan de forma activa.

El primer debate que tratamos es el que se desarrolla alrededor del concepto “riesgo”²⁷⁷. Se trata de un debate complejo, y en el que ni siquiera existe acuerdo teórico en cuanto a la definición del concepto. Si bien es cierto que desde las ciencias naturales, y desde una posición positivista, éste se ha formalizado en el sentido de que debe entenderse como probabilidad de ocurrencia de un suceso por magnitud de la consecuencia esperada; no los es menos que dentro de esa definición “objetiva” que cuantifica el riesgo existe una ocultación de su dimensión social, ocultación que queda completada por la asignación psicologista de “aceptaciones” y “aversiones” individuales ante el “resultado objetivo” obtenido. Este saber del riesgo como conocimiento experto, que además puede ser gestionado a través de modelos umbrales, tanto naturales como psicológicos, enmascara detrás de su artificio numérico su verdadera naturaleza de creencia argumentada. El concepto de “riesgo” deja así de estar expuesto a su definición social que es política, y por tanto dialógica, y se convierte en coto indiscutido de los técnicos que lo operativizan conforme a los cánones de una empiria supuestamente avalorativa. De esta manera burda se hurta el debate social sobre el riesgo; convirtiéndolo en debate experto donde solo caben los *a priori*s considerados científicos, y en donde la crítica que intenta introducir la dimensión social se estigmatiza por argumentativa y valorativa.

²⁷⁷ No debemos confundir riesgo y peligro aunque ambos estén relacionados entre sí. Como señala Anthony Giddens: “peligro y riesgo van estrechamente relacionados, pero no son la misma cosa. La diferencia no depende del hecho de si un individuo sopesa o no conscientemente las alternativas al contemplar o tomar determinado curso de acción. Lo que el riesgo presupone es el peligro, no necesariamente el peligro mismo.” (Giddens, 1999: 143).

De este debate mostramos, en primer lugar, la posición de relativismo cultural. Los partidarios de esta posición identifican el riesgo como un constructo social en el que la opinión de los expertos no debe privilegiarse sobre las opiniones de los legos. La segunda posición que describimos es la positivista; en ésta se afirma que es posible medir objetivamente el riesgo, ya que en su análisis y evaluación se pueden ignorar los juicios de valor y cumplir con el principio científico de completa neutralidad. Criticamos esta pretensión con alguna amplitud. En tercer lugar, vemos la posición procedural; se trata de una posición intermedia de las dos anteriores que se caracteriza por tener en cuenta los valores aportados por la ciencia, pero también los aportados por otros grupos sociales. Desde esta posición se asume la existencia de por lo menos un criterio universal con poder explicativo; y de un procedimiento que garantiza la posibilidad de elección entre teorías, o paradigmas en competencia. La cuarta posición que tratamos es la de Jon Elster; ésta se caracteriza por definir el riesgo como una reducción de la incertidumbre a través de mecanismos como la creencia o las probabilidades subjetivas, mecanismos que si bien no proporcionan certeza, si al menos dan cierta verosimilitud de ocurrencia o no ocurrencia, y acaban actuando como normas para la acción. La introducción del concepto de “incertidumbre” es fundamental en la definición de riesgo dada por Jon Elster, de ahí que también tratemos de ella. Según este autor cuando hay incertidumbre el actor no puede asignar probabilidades numéricas a la ocurrencia de un suceso; tampoco puede especificar el conjunto completo de posibles estados del mundo, y ni siquiera es capaz de dar cuenta de las probabilidades que éstos tienen de ser en el futuro.²⁷⁸ La quinta y última posición que incluimos, y que por supuesto no agota las existentes, es la de Ulrich Beck. La hipótesis central de esta posición es que el riesgo

²⁷⁸ Véase al respecto, Jon Elster: *El cambio tecnológico. Investigación sobre la racionalidad y la transformación social*, Ed. Gedisa, Barcelona, 1990, pp 71-ss. No sólo para la definición de Jon Elster del concepto “riesgo” es importante la introducción de la incertidumbre. De hecho: “*most general of the definitions presented by risk analyst: risk is defined as an uncertain situation in which a number of possible outcomes might occur, one or more of which is undesirable. With this definition uncertainty is clearly fundamental to the concept of risk.*” (Herkhofer, 1987: 2). Por ejemplo, en otra teoría, la teoría de la comunicación: “la incertidumbre se basa en la carencia de información respecto a la situación (...) La cantidad de información está determinada por la cantidad de incertidumbre reducida. En una determinada situación, información e incertidumbre son cuantitativamente equivalentes” (Corso, 1967: 466). En inglés en el original.

se ha convertido en el elemento definidor de las sociedades actuales. Un elemento definidor abierto a los procesos sociales de definición, y por tanto sociopolítico²⁷⁹; y que es global, es decir, que afecta a todo el planeta. Vistas algunas de las posiciones teóricas más importantes sobre el riesgo, examinamos algunos riesgos de las nuevas biotecnologías. De ellos indicamos algunos casos donde hay evidencia empírica de consecuencias negativas en sus aplicaciones. Para finalizar el debate sobre el riesgo de las nuevas biotecnologías tratamos el importante tema de su percepción; ejemplificando el mismo con los resultados de un estudio español que lo estudia en una población experta.

El segundo debate que consideramos es el debate ético. Éste lo hemos dividido en distintos apartados, todos ellos vinculados a las aplicaciones de las nuevas biotecnologías en el ser humano. El primero considera las problemáticas éticas que plantea el diagnóstico genético del embrión; el segundo las que plantea su terapia génica; en el tercero vemos distintas teorías

²⁷⁹ Aquí juega un papel muy importante la información, cuyo debate en palabras de Louis Lemkow: “refleja y forma parte de un nuevo y dinámico proceso de construcción social de la ciencia, de la tecnología y del riesgo que algunos sociólogos, notablemente Beck y Giddens caracterizan como <<modernización reflexiva>>.” (Lemkow, 2002: 192). Recordemos que según Ulrich Beck: “la perspectiva ve la modernización reflexiva, que se basa en las condiciones de democracia *muy desarrollada* y de generalización científica *aplicada*. Conduce a *delimitaciones* características entre ciencia y política. Los monopolios del conocimiento y del cambio se separan, se sitúan y resultan, en general y en cierto sentido más accesibles. De modo que ya no está claro, de pronto, si todavía la política familiar o ya la genética humana son preeminentes para la vida cotidiana humana más allá de la aprobación o rechazo democráticos. Esto significa: los riesgos que hoy irrumpen se diferencian de todas las tipificaciones anteriores, primero por su alcance *capaz de influir socialmente* y luego por su *constitución científica específica*” (Beck, 2001: 200-201). Por otra parte, para Giddens: “Con el advenimiento de la modernidad, la reflexión (...) es introducida en la misma base del sistema de reproducción de tal manera que el pensamiento y la acción son constantemente refractados el uno sobre el otro (...) La reflexión de la vida social moderna consiste en el hecho de que las prácticas sociales son examinadas constantemente y reformadas a la luz de nueva información sobre esas mismas prácticas, que de esa manera alteran su carácter constituyente.” (Giddens, 1999: 46). Por último, recordar que: “La noción psicológica y metafísica de reflexión tiene su origen en la idea de reflexión de una substancia material (cuerpo elástico, onda de luz o de sonido, etcétera). Si la substancia material cae sobre una superficie lisa, rebota y cambia de dirección. Se ha supuesto que lo mismo puede ocurrirle al sujeto humano y aun a la realidad entera. En este último caso se supone que la realidad puede, después de <<extenderse>> o de <<emanar>>, regresar hacia sí misma. Con ello se produce la <<reflexión de la realidad>>. La realidad de que aquí se habla es, en último término, de carácter espiritual. Aunque es posible que se <<multiplique>> y <<disperse>>, su tendencia consiste en volver hacia sí misma, en concentrarse en su proia unidad, esto es, en <<reflexionar>>. En el caso del sujeto humano, la reflexión es el cambio de dirección de un acto mental, y específicamente de un acto intelectual, por medio del cual el acto invierte la dirección que lo lleva hacia el objeto y vuelve hacia sí mismo. Así considerada, la reflexión es un acto de conciencia. A menudo se identifican <<conciencia>> y >>reflexión>>, lo que lleva a considerar el sujeto humano como un ser fundamentalmente reflexivo.” (Ferrater, 1998: 3033).

sobre su estatus; en el cuarto planteamos un escenario hipotético donde es posible diseñar las cualidades físicas e intelectuales durante el estado embrionario, es decir “diseñar” al niño que va a nacer conforme al deseo de sus padres; en el quinto tratamos sobre el caso de “adultos de diseño” en los que, y de nuevo en un escenario hipotético, adultos deciden cambiarse el físico y las capacidades intelectuales a través de cambios en su genoma. En estos dos últimos la teoría de juegos nos ha servido de marco teórico de referencia para realizar nuestras reflexiones. Por último, abordamos el caso especial de los no autónomos, en este caso las decisiones sobre el genoma de incapacitados mentales es tomada por sus tutores.

El tercer debate lo situamos en el plano económico. En él tratamos de las relaciones entre ciencia e industria en el caso de las nuevas biotecnologías; mostrando que la proximidad de las investigaciones científicas en esta área de conocimiento a las aplicaciones industriales condiciona sus prácticas informativas y sus objetivos. En el primero de los condicionantes juega un papel fundamental los sistemas de protección intelectual. Éstos limitan el libre acceso a la información generada por las investigaciones, por lo menos hasta la obtención de una patente, y aun después de ésta por su uso monopolístico, rompiendo de esta forma con ese requisito tradicional que ha sido fundamental para el avance de la ciencia. En el segundo, la creciente necesidad de fondos de los Centros Pùblicos de Investigación, y la creciente financiación de éstos por parte de las empresas, pero también la creciente identificación y asimilación de las necesidades sociales de ciencia y tecnología con las necesidades industriales²⁸⁰, condicionan los

²⁸⁰ De este proceso son ejemplos las múltiples publicaciones sobre política científica y tecnológica de la Unión Europea, pero también los españoles. Véase al respecto, por ejemplo: Comisión de las Comunidades Europeas SEC (92) 88 final: *La recherche apres Maastricht: un bilan, une strategie*, Comunication de la Comisión au Conseil et au Parlament European, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Bruxelas, 9 de abril de 1992; y Comisión de las Comunidades Europeas COM (99) 284: *Research and technological development activities of the European Union, 1999 Annual Report*, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Bruxelas, 16 de junio de 1999. En cuanto a las publicaciones españolas pueden verse por ejemplo: Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología: *IV Programa Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación (2000-2003)*, Ed. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Madrid, 2000; y Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica: *El sistema español de innovación, diagnóstico y recomendaciones. Libro blanco*, Ed. Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, Madrid, 1998. Por supuesto estas publicaciones no agotan, ni mucho menos, las existentes sobre la creciente relación entre la política científica y las necesidades industriales, así como de la subordinación de la primera respecto a la segunda.

objetivos de investigación de aquellos. De esta forma los fines de la ciencia, pero también los de la tecnología, que deben ser sociales devienen únicamente económicos. Se puede argumentar que lo producido por la industria atiende a las necesidades sociales, pues de no hacerlo sus productos no se venderían. Pero lo cierto es que atienden al consumo inducido por las técnicas del “psicomarketing”. El consumidor no consume lo que necesita, consume lo que desea; y lo que desea no depende de su volición, sino del “conjunto imaginario”²⁸¹ que se idealiza como verdadero ser del producto que se le ofrece. Esto, como veremos en su momento, tiene consecuencias como las de un mayor riesgo debido a la ampliación de escala; pero también, y para lo que aquí nos ocupa, los de dirigir la ciencia y la tecnología hacia escenarios de especulación económica que se alejan de los ideales de conocimiento y utilidad que han sido tradicionalmente los objetivos de éstas. Las nuevas biotecnologías, lejos de escaparse de estos “nuevos tiempos” para los campos científicos y tecnológicos, les son modélicas.

El cuarto y último debate que abordamos es el de las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo”. De éstas tratamos concretamente las que tienen las aplicaciones para la salud humana; indicando aquí que el coste económico, sobre todo debido al régimen monopolístico que permiten los sistemas de protección de la propiedad intelectual, la posibilidad de transferencias de biotecnologías que se adapten a las propias necesidades (para lo cual es necesaria una infraestructura científica y tecnológica adecuada, además de personal de investigación y de administración de la ciencia y tecnología cualificados), o mayormente el desarrollo de Programas científicos y tecnológicos propios y concretos para el tratamiento de casos específicos de gran trascendencia en las poblaciones del “Tercer Mundo”. Todo ello se nos presenta como una realización utópica, máxime cuando sólo la ayuda decidida de los países desarrollados permitiría a los países de poco desarrollo acceder a estas tecnologías de la vida, ayuda que históricamente nunca se ha dado en tales términos. La segunda repercusión que

²⁸¹ Por “conjunto imaginario” entendemos las imágenes asociadas a objetos que el marketing utiliza para inducir al consumo. Es de sobras conocida la utilización publicitaria del sexo en este sentido.

tratamos es la que se da por la aplicación de las nuevas biotecnologías a la agricultura. Es este un tema de gran trascendencia que hemos abordado con alguna amplitud. Lo iniciamos con la que se conoce como “Revolución Verde”; verdadero antecedente a nuestro entender de la llamada “revolución agrícola” que se supone se producirá con la aplicación de las nuevas tecnologías de la vida a los campos de este mundo. Mostramos, en primer lugar, cual son las biotécnicas a las que hacemos referencia. En segundo lugar, nos detenemos en un aspecto tan importante como el de quién controla esta “revolución agrícola”. La conclusión que extraemos es que son las transnacionales agroquímicas del “primer mundo” las que la controlan. Explicamos las fases que han llevado a esta situación de casi oligopolio de la agricultura mundial, y las consecuencias que se derivan de ello. En tercer lugar, dedicamos un apartado a la intercambiabilidad y sustituibilidad de productos agrícolas tradicionales como por ejemplo: el azúcar y el cacao; dando cuenta, además, de la debilidad de estos productos frente a otros que los sustituyen. Analizamos las consecuencias que esto tiene para los países del “Tercer Mundo” que basan en buena medida su economía en estos productos. En tercer lugar vemos como la promesa de que las nuevas biotecnologías van a disminuir los *inputs* agroquímicos derivados de la “Revolución Verde” es más argumentativa que real; y lo es porque la “revolución agrícola” que deriva de las tecnologías de la vida está dirigida por las transnacionales agroquímicas. En quinto lugar, abordamos los efectos negativos que para los países del “Tercer Mundo”, y sobre todo para su sector agrícola, tienen los sistemas de protección de la propiedad intelectual que se aplican a las nuevas biotecnologías.

2. El debate sobre el riesgo

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 ha venido manteniendo 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 evitar las mismas.

Las nuevas biotecnologías por su relación con la materia viva entran de lleno en: riesgos éticos²⁸², 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, etc. Estos riesgos preocupan a un amplio abanico de la opinión pública como muestran distintos estudios de opinión efectuados²⁸³. En todo caso la magnitud de esta preocupación muestra, en buena medida, el interés del público sobre los riesgos inherentes a las nuevas biotecnologías.

2.1. Definición del concepto riesgo

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.²⁸⁴ Nosotros abordamos algunas de ellas. No pretendemos ser exhaustivos en este punto, aunque sí informativos. Lo cual no quiere decir que nos limitemos a una mera descripción de las teorías; antes bien y para algunas de ellas profundizamos en sus debilidades

²⁸² Los mismos los desarrollamos en el apartado que dedicamos al debate ético sobre las nuevas biotecnologías.

²⁸³ En el capítulo siguiente comentaremos algunos de éstos.

²⁸⁴ Respecto a distintas formas de definición de riesgo desde las ciencias sociales véase el buen recopilatorio de Sheldon Krimsky y Dominic Golding (eds.): *Social Theories of Risk*, Praeger Publishers, United Estates of America, 1992.

con espíritu crítico, y en otras, con las que nos identificamos, realizamos una lectura más comprensiva.

2.1.1. La posición del relativismo cultural

En el libro *Risk and Culture* de M. Douglas y A. Wildavsky²⁸⁵ 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 ello que la opinión que éstos tienen sobre éste no es privilegiada respecto a la del público no experto. Por tanto, estos autores concluyen que las opiniones sobre él de los no expertos son del mismo valor que la de los expertos. Ello es así porque, tanto en unos como en otros, existe una construcción social del riesgo que delimita la percepción que sobre el mismo 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).

Esta posición de relativismo cultural en la que el riesgo se identifica como un constructo social, adoptada por Douglas y Wildavsky, implica como nos lo recuerda Kristin Shrader-Frechette la asunción de por lo menos cinco argumentos:

- “1. Increased knowledge and additional reasoning about risks do not make people more rational about hazards.
2. Risk assessments are like judgments in aesthetics.
3. Any form of life, including risk behavior and attitudes, can be justified, as everyone is biased in her perceptions of danger, including experts who disagree about hazard analysis.
4. Modern persons are no different from primitives in that social structures dictate their views of, and responses to, alleged hazards.

²⁸⁵ Véase a M. Douglas y A. Wildavsky: *Risk and culture: an essay on the selection of technological and environmental dangers*, University of California Press, Berkeley, 1982.

5. More specifically, environmentalist views of risk are a result of their <<sectarian problems>>.” (Shrader-Frechette, 1991: 221).

No entraremos aquí a detallar las críticas que Kristin Shrader-Frechette realiza a cada uno de estos cinco argumentos que se desprenden de la posición relativista cultural adoptada por Douglas y Wildawsky. Sin embargo, nos parece oportuno señalar, como lo hace esta autora, que la posición de “todo o nada” respecto de la información disponible en torno a un riesgo adoptada por los relativistas culturales no se sostiene, y ello porque existen múltiples ejemplos que dan pie a suponer que el aumento de conocimiento cambia nuestra percepción del riesgo. Es el caso por ejemplo de los conocimientos adquiridos sobre las consecuencias que comportan la utilización de rayos X, de algunos pesticidas como el DDT, la contaminación ambiental, etc. Estos ejemplos, a nuestro entender, son lo suficientemente significativos como para poner en entredicho los cuatro primeros argumentos de Douglas y Wildawsky. Por otro lado, la descalificación de los puntos de vista de los ecologistas, sobre la base de que los resultados que obtienen éstos se basan en problemas sectarios, constituye una argumentación *ad hominem* difícilmente compatible con la posición de mismo valor de todas las argumentaciones, y de la visión del riesgo como constructo social que sostienen estos autores. Por último, la teoría de Douglas y Wildawsky no nos sirve para comprender porque existe aversión al riesgo.

2.1.2. La posición positivista

La posición positivista del riesgo, como por ejemplo la asumida, entre otros, por C. Starr y C. Whipple en su artículo “Risk of risk decisions”²⁸⁶ implica que es posible medir objetivamente el riesgo. Una de las consecuencias principales de ello es que para estos autores

²⁸⁶ Este artículo lo publicaron en 1980 en la revista Science, Vol. 5, Nº 208, pp. 1114-1119.

es posible ignorar los juicios de valor en el análisis y evaluación científica del riesgo. En este sentido, los juicios realizados sobre el riesgo realizados 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.

Un artículo, ya clásico, que clasifica los valores que afectan a la ciencia es el que, en 1983, publicó H. Logino en *Science, technology & human values* y que lleva por título: “Beyond, bad science, sceptical reflections on the value-freedom of scientific inquiry”. En este artículo Logino divide los valores que afectan a la ciencia en tres tipos: valores que implican prejuicios, valores contextuales, valores constitutivos. El primer tipo de valor, que depende de omisiones de datos o de deliberadas interpretaciones erróneas, puede ser evitado mediante la revisión de los datos, o de la interpretación que de ellos se desprende. El segundo tipo de valor es más difícil de evitar, aunque no imposible, al depender de la suscripción de los científicos o expertos en riesgo a valores de tipo contextual; como pueden ser los valores éticos personales y los valores sociales o culturales ante determinada cuestión. Los valores constitutivos son los más difíciles de evitar pues están insertos en la propia elección de los métodos utilizados por la ciencia. Ello es así porque la propia elección de un método supone la no utilización de otros y, por tanto, una valoración del mismo por encima del resto. Por otro lado, incluso la misma recolección de datos esta sujeta a valores constitutivos, pues en buena medida depende de asunciones previas acerca de lo que se estudia.

Otra división de los valores en categorías la encontramos en postpositivistas como Hempel, MacMullin, Ángel y Scriven²⁸⁷. Estos autores distinguen entre juicios instrumentales de valor y juicios categóricos de valor. Los primeros hacen referencia a que la obtención de un valor o meta es indicativa de que la acción realizada para conseguirlo o conseguirla es idónea para tal fin. De esto se desprende que la obtención de un valor como el de “poder de predicción”, a la que toda teoría aspira, hace de los métodos utilizados para ello los más apropiados, y por tanto hay que desechar las alternativas. Los juicios categóricos de valor juzgan *prima facie* e independientemente de cualquier circunstancia, o de si cierta meta perseguida es buena. Estos autores piensan que los juicios categóricos de valor no tienen lugar en la ciencia, y tampoco lo tienen en actividades científicas como la evaluación de riesgo. Esta opinión la basan en que los juicios categóricos de valor no pueden ser confirmados empíricamente, y por tanto son subjetivos. Esto sitúa a estos postpositivistas muy cerca del pensamiento de positivistas como Carnap y Reichenbach. Esta posición de rechazo de los juicios categóricos de valor en la ciencia, y más concretamente en la actividad de evaluación científica del riesgo, resulta en la práctica inaplicable. Ello es así porque la demanda de confirmación empírica requerida excede el nivel de certidumbre utilizado por científicos y asesores de riesgo para: decidir los criterios a los que se adhieren, elegir una teoría, recolectar e interpretar datos, y rechazar hipótesis. El asumir que la ciencia o la evaluación de riesgos debe no aceptar los juicios categóricos de valor sobre la base de que no pueden ser confirmados empíricamente supone en la práctica rechazar la propia esencia del trabajo científico. La ciencia y las evaluaciones de riesgo se nutren de los juicios categóricos de valor en su práctica habitual, y es por ello que debería tenerlos en cuenta a pesar de que no puedan ser confirmados empíricamente. Por otro lado, el atender a este criterio de que los juicios categóricos de valor

²⁸⁷ Ver al respecto, por ejemplo: Hempel, C.: *Aspects of Scientific Explanation*, Free Press, New York, 1965; McMullin, E.: “Values in Science”, Philosophy of Science Association, P.D. Asquith (ed.), 1983, Vol. 2, pp. 3-28; Nagel, E.: *The Structure of Science*, Ed. Harcourt Brace, New York, 1961; Scriven, M.: “The Exact Role of Value Judgments in Science”, en E. Klemke, R. Hollinger y A. Kline (eds.), *Introductory Readings in the Philosophy of Science*, Prometheus Books, New York, 1980, pp. 269-291.

deben ser confirmados empíricamente supone una parálisis de la misma actividad científica o de evaluación de riesgo, ya que los científicos o los asesores de riesgo se ven obligados a examinar y confirmar empíricamente cada una de las elecciones y decisiones que toman.

Los positivistas plantean también que es posible separar hechos y valores, e incluso suponen que algunos hechos carecen de valores. Existen varias razones para cuestionar la existencia de la dicotomía apuntada. En primer lugar, ésta es incompatible con la formulación de cualquier teoría científica o análisis explicativo causal que conecte fenómenos, ya que cualquier formulación teórica requiere la realización de juicios epistémicos de valor, e incluso juicios categóricos de valor. En segundo lugar, la presentación de alternativas no se limita a ser descriptiva o factual, puesto que en la misma juega un papel muy importante el uso de criterios de evaluación para seleccionar las opciones presentes; criterios de evaluación que son normativos, y que de atender a la dicotomía planteada quedarían fuera del punto de mira de las preguntas aceptables que la ciencia se hace sobre sí misma. En tercer lugar, aceptar la dicotomía entre hechos y valores supone creer en la existencia de hechos puros, hechos que además se presupone que pueden ser investigados. Esto olvida que la propia investigación se haya sometida a valores contextuales, constitutivos, e incluso valores que implican prejuicios ocultos que la pueden sesgar, y ello sin tener en cuenta que en los propios hechos existen valores que imposibilitan consignarlos como hechos puros que carecen de valores, y hechos brutos con valores.

La separación de valores entre “juicios categóricos de valor” y “juicios instrumentales de valor”; y la separación entre valores y hechos permiten 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 este pensamiento 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. En tercer lugar, 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 de esta forma los demás valores constitutivos. Un caso claro de lo que aquí estamos diciendo lo constituye el de la elección entre energías. Bajo el “principio de neutralidad valorativa” se tiende a priorizar la energía nuclear enfrente de sus alternativas, puesto que se asume que esta fuente de energía es la única capaz de suministrar a un precio razonable la energía eléctrica que se demandará en el futuro²⁸⁸. Esta asunción, que tiene como base las estimaciones de necesidad eléctrica futuras y los ritmos de producción eléctrica que cada fuente de energía podría suministrar en ese futuro, no tiene en cuenta que los valores constitutivos de la necesidad eléctrica marcada por los ritmos de producción son distintos a los valores constitutivos de las fuentes de energía eléctrica, y que por tanto existen valores constitutivos confrontados que deben tenerse en cuenta a la hora de elegir una fuente de energía u otra. Nos referimos aquí a valores constitutivos que priorizan el medio ambiente o la salud, y que hacen que ante la posibilidad, aunque esta sea remota, de que se produzca un accidente se prefieran energías alternativas a la nuclear, aun cuando no se alcancen en el futuro los niveles de producción

²⁸⁸ Aquí estamos en un caso claro de maximización de la ganancia esperada, donde la ganancia son los KW/hora que se produzcan atendiendo a costes económicos determinados.

eléctrica que algunos expertos de la proyección en este campo consideran necesarios²⁸⁹. En cuarto lugar, 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 los 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.

Resumiendo, el 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).

2.1.3. La posición procedural

²⁸⁹ Es decir, se atiende a un criterio de mínima perdida esperada frente al de máxima ganancia esperada que veíamos anteriormente. El tema en última instancia nos remite a un problema de elección racional en condiciones de incertidumbre donde factores psicológicos como la aceptación o aversión del riesgo juegan un papel importante a la hora de elegir entre las distintas combinaciones energéticas posibles. Jon Elster desarrolla este tema en el apéndice 1 que lleva por título: “Riesgo, incertidumbre y energía nuclear” de su libro *El cambio tecnológico. Investigación sobre la racionalidad y la transformación social*. La edición que nosotros hemos consultado es la de la editorial Gedisa de 1990. Véanse, sobre todo, pp. 165-184.

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 hagan posible, por un lado, tener en cuenta los valores aportados por la ciencia en sus evaluaciones²⁹⁰ 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 tests 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 proceduralista 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 tests 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,*

²⁹⁰ 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.

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 procedural, la garantía de algoritmos correctos en los juicios de riesgo, sino el cumplimiento de un criterio general racional. El criterio general racional es aquel 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 valorares 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 procedural.

2.1.4. La posición de Jon Elster

Otra definición de riesgo la encontramos en Jon Elster, que 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>>²⁹¹, 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, sino certeza, sí, 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 que la racionalidad del agente actuante implique maximizar la utilidad esperada asociada a diversos cursos de acción limita a éstos a 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 sólo 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.

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

²⁹¹ Más adelante examinaremos que entiende Jon Elster por este concepto.

fundamentalmente, ni siquiera puede especificar un conjunto completo de los posibles estados del mundo ni mencionar su probabilidad.” (Elster, 1990: 71)

Lo que separa 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 racionales²⁹²; 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 razonablemente 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

²⁹² Por ejemplo el de la maximización de la utilidad esperada que menciona el propio Elster.

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 ellas²⁹³.

Respecto a la tecnología Elster plantea una distinción entre expertos y no expertos. Según este autor los expertos, en lo que se refiere a tecnología, están bajo condiciones de riesgo y los no expertos bajo condiciones de incertidumbre. Esto implica que los expertos son capaces de asignar probabilidades, o al menos tienen grados cuantificables de creencia²⁹⁴; o en todo caso son capaces de establecer los cursos de acción tecnológica que maximizan la utilidad esperada. Por otro lado, los no expertos sólo son capaces, y ello en el mejor de los casos posibles, de asignar cursos de acción cuyas mejores consecuencias 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 éste 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

²⁹³ Señalar que Kenneth J. Arrow desarrolla un modelo teórico de elección bajo condiciones de incertidumbre en: *Essays in the theory of risk-bearing*, North Holland Publishing Company, Amsterdam-London, 1971. Véase sobre todo pp. 44-89. En esta obra indica que la explicación del comportamiento requiere de dos consideraciones, a saber: “(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).

²⁹⁴ 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). 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.

palabras de Anthony Giddens en: “la fiabilidad del público en los sistemas expertos²⁹⁵ [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).

2.1.5. 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 Beck, de 1986, que lleva por título el que nos hemos permitido utilizar para presentar este apartado²⁹⁶, y que presenta la posición de este autor. Nos mueve a ello la visión innovadora que tal autor hace del concepto que venimos considerando, utilización de la que se extraen consideraciones que creemos deben ser tenidas en cuenta.

El principal argumento de Beck puede dividirse, como señala David Goldblatt, en 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

²⁹⁵ 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, 1999:37).

²⁹⁶ Nos referimos aquí, claro está a Ulrich Beck: *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*, Ed. Paidos, Barcelona, 2001. La edición original es de 1986.

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 éste está abierto a los procesos sociales de definición, y por tanto las 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 vimos más arriba; 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 también globales (es decir, acuerdos internacionales de vigilancia global de cumplimientos). Esta tesis viene a constatar la deslocalización del riesgo, es decir, 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. Esta tesis viene a significar 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 riego como proceso social abierto a definiciones, al considerar que la única 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 viene a decir 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, etc. 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 trascipción 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 existencia²⁹⁷). Ahora entendemos porque 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 procedural 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 qué 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 en su conjunto global (a todo el mundo), la sociedad debe definir al riesgo en su conjunto global. Es imprescindible, por tanto, establecer canales democráticos abiertos donde las distintas definiciones sociales en competencia del concepto riesgo puedan convencer sobre la base de 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

²⁹⁷ Con esto queremos decir que de las posiciones dominantes en torno al riesgo depende en buena medida 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] esta 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).

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).

2.2. 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 pública del riesgo en España, y en una población experta: “*tres de cada quatre enquestats opina que la biotecnologia no es inóqua ja que les condicions de seguretat en el laboratori no poden ser garantides en condicions de no confinament.*” (Lizón, 1997: 26). 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.

2.2.1. Algunos riesgos para la ética derivados de la utilización de las nuevas biotecnologías

Respecto a los riesgos para la ética que plantea el diagnóstico y la terapia génica, y que veremos con más detalle en otro lugar, queremos destacar que los mismos afectan a principios tan importantes como: el “principio de integridad” o “identidad genética”, que hace referencia al derecho a heredar un patrimonio genético no manipulado²⁹⁸; el “principio de consentimiento libre e informado”, que implica que al individuo que se le vaya a realizar el diagnóstico o la terapia génica se le informe sobre los límites, consecuencias y alternativas de tal diagnóstico o terapia²⁹⁹; el “principio de confidencialidad”, que se refiere a que los resultados del diagnóstico genético o las terapias génicas efectuadas deben ser informados tan sólo al individuo al que se le han practicado y no a terceros³⁰⁰.

No entraremos aquí a desarrollar con mayor profundidad estos riesgos. Ello se hará al hablar del debate ético sobre las nuevas biotecnologías. Bástenos de momento con esta breve referencia.

²⁹⁸ Este principio basado en una concepción antropomórfica del hombre en la que el cuerpo humano se considera como una unidad, unidad que incluye el propio genoma, intenta resolver el problema que plantea la ingeniería genética a la hora de posibilitar diseños genéticos en humanos que pueden derivar en auténticas quimeras. El reconocimiento del principio apuntado, que es compatible con la posibilidad de terapia genética, planteado como un derecho inalienable de los individuos supone como señala Daniel Borillo: “una modificación sustancial de lo declarado por el artículo 1º de la Declaración Universal de Derechos Humanos. En efecto, no solo los hombres nacen libres e iguales en dignidad y derechos sino que además cuentan con un derecho hereditario a un patrimonio genético no modificado” (Borillo, 1996: 202).

²⁹⁹ Un caso en que este principio plantea dificultades de cumplimiento es el de diagnóstico en embriones.

³⁰⁰ Este principio plantea problemas, puesto que se contrapone al derecho de terceros (como familiares, aseguradoras, empresas) a saber datos sobre un individuo que le son necesarios a la hora de tomar determinadas decisiones, como pueden ser: contraer matrimonio, aceptar la contratación de un seguro, escoger el mejor trabajador para determinado puesto de trabajo.

2.2.2. Algunos riesgos sobre la salud que plantean los diagnósticos genéticos

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 14^a 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.

2.2.3. Algunos riesgos sobre la salud que plantean las terapias génicas

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 que riesgos plantea³⁰¹. 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

³⁰¹ 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: 1).

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 organismo³⁰², pero que aumentaría 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.

2.2.4. Algunos riesgos derivados de la utilización de las nuevas biotecnologías por la industria armamentística

No queremos dejar pasar por alto otro tema que preocupa a la opinión pública, y que la misma considera como un riesgo asociado a las posibilidades de manipulación que abre la ingeniería genética aplicada a humanos. Nos referimos aquí a la utilización de estas técnicas con fines armamentísticos. En efecto, la posibilidad de desarrollar armas genéticas capaces de alterar el genoma humano constituye un riesgo difícil de evaluar. Se nos ocurre pensar que las alteraciones que en él tales armas genéticas podrían conseguir, son de una gran variedad y que sus efectos sobre los organismos alterados van más allá en consecuencias y tiempo de los

³⁰² 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. Véase al respecto, Thomson et al.: "BMP4 initiates human embryonic stem cell differentiation to trophoblast", *Biotechnology Nature*, diciembre de 2002, vol. 20, N° 12, pp. 1261-1264.

efectos conocidos que producen las armas: convencionales, nucleares, químicas, u orgánicas. No se trata aquí de matar un organismo o mutilar sus órganos, se trata de cambiar al mismo a través de su composición básica. También el diseño de armas para poblaciones específicas, es decir que las identifique a través de especificidades propias en su genoma, por minúsculas que éstas sean, puede tener como consecuencia genocidios planificados militarmente, genocidios que con un coste mínimo de soldados y armas cumplan sus objetivos de exterminio del “enemigo”. Las armas biotecnológicas son por tanto un peligro enorme para la humanidad, su poder de aniquilación es total y específico. No están sometidas como en el caso de las químicas y las atómicas a cambios de viento repentinos, o a fallos humanos que eliminan al propio ejército. Una vez establecida la diana, que es la sección diferenciada del genoma humano del enemigo concreto, el arma biotecnológica atacará a la población de éste y no a otro, eso sí matará tanto a sus militares como a sus civiles, no quedará nadie de esa población diana. No se le escapa a nadie el horror que pueden causar estas armas, y argumentar que pueden ser disuasorias, como se ha hecho con el caso de las atómicas, y por tanto deben desarrollarse, es malvado. Un arma de las características señaladas si se puede usar, sabiendo que los propios no serán dañados, terminará por usarse. Este apartado de las armas biotecnológicas puede parecer utópico, pero es un riesgo real que debe tenerse en cuenta si se desea evitarlo.

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

Existe un debate en torno al efecto que sobre la calidad de vida y la salud de los animales tiene la modificación genética que en ellos se efectúa; sobre todo en la Unión Europea, aunque no en España. En este sentido, la utilización de animales con fines experimentales en este campo plantea parecidos dilemas éticos a los de la vivisección o la introducción de oncogenes. Sin embargo, hay por lo menos un aspecto donde la ingeniería genética aplicada a animales plantea dimensiones éticas que creemos distintas hasta la hora planteadas en el campo de la experimentación a través de animales. Nos referimos a la posibilidad cierta de diseñar

animales apropiados para determinados usos de investigación. Es el caso, por ejemplo, del ratón transgénico de Harvard utilizado como modelo de estudio para el cáncer. La diferencia estriba en que mientras con la vivisección o la introducción de oncogenes eran individuos los sometidos a los experimentos, y por tanto la crítica ética se hacía al sufrimiento causado al animal concreto, en casos como el del ratón transgénico de Harvard es toda una estirpe (quien sabe si más adelante toda una raza de animales, la diseñada para un fin concreto) de animales la que sufre de la enfermedad inducida por el hombre. Por tanto, a la crítica ética del sufrimiento concreto de un animal concreto se une la que origina la predestinación de toda una estirpe de animales al sufrimiento. Por otro lado, la manipulación genética de animales a fin de que posean órganos humanos capaces de ser transplantados a éstos origina debates morales en torno a los límites que tales prácticas deben tener. La fabricación de medicinas, hormonas, proteínas, etc. a través de los fluidos corporales, especialmente de la leche, plantea menos dilemas éticos, aunque al igual que el aumento de leche a través de la Hormona Somatropina Bovina en vacas se teme que tales posibilidades de utilizar a los animales como bioreactores aumenten la explotación productiva de éstos; y por tanto se empeore su calidad de vida causándoles trastornos psíquicos y físicos que desde aquí no estamos en condiciones de evaluar. Lo importante, es que existe un riesgo claro de dar un nuevo paso hacia la apropiación de los animales, y su consiguiente utilización sin límites como mercancía de uso. Ello supondría la perdida, para nosotros importante, de la relación emocional del hombre con éstos. Los cuales serían vistos no como seres vivos con capacidad de placer y sufrimiento, sino como meros objetos inanimados destinados al consumo, a cualquier tipo de consumo, incluido, como no, el de salud³⁰³.

³⁰³ El concepto de “consumo de salud” remite aquí a la utiliaación de los animales, por ejemplo, como bioreactores que produzcan en sus fluidos corporales medicinas, hormonas, proteínas, etc; o la transformación de su genoma para producir órganos para transplantes, o que lo sea para que sirvan como modelos experimentales donde ensayar nuevos productos farmacológicos o cosméticos.

Existe otro tema con relación al riesgo que se corre con la manipulación genética efectuada en animales que es importante. Nos referimos al hecho de 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 alimentos³⁰⁴. 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 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 señala 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, así mismo, 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, a la largo plazo, a la desaparición de especies silvestres, con la consiguiente perdida 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

³⁰⁴ Pueden existir 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 las mismas consecuencias.

podrían, incluso, llegar a desaparecer por su falta. Ello originaría daños y desequilibrios en los ecosistemas locales difícilmente evaluables.

1.2.6. 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 arroz³⁰⁵. Todo esto ha hecho pensar que la ingeniería genética aplicada a las plantas permitirá una segunda “Revolución Verde”, con efectos muy positivos para el hombre. 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; la uniformidad de la especie transgénica acabe con la biodiversidad existente en las especies silvestres; cambios de estructura social en la que la agricultura tradicional sería sustituida por la producción de empresas biotecnológicas que actuarían en régimen de monopolio; los países del “Tercer Mundo”, que son los países con mayor biodiversidad, acaben por pagar a los países del “Primer Mundo” por sus propios recursos genéticos. Todos estos son riesgos que plantean las nuevas biotecnologías aplicadas a plantas. Nos interesa resaltar que los riesgos dependerán, en todo caso, de la aplicación específica de la ingeniería genética. No es lo mismo, por ejemplo, diseñar plantas capaces de generar sus propios mecanismos de protección frente a insectos y malas hierbas, que plantas a las que se aumenta su resistencia a pesticidas y herbicidas. En el primer caso los elementos químicos utilizados para matar insectos y malas hierbas carecerían de sentido; en el segundo se

³⁰⁵ 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).

podría dar un aumento de los mismos, o por lo menos se mantendría su nivel actual. Tampoco es lo mismo diseñar plantas que absorban mejor el nitrato disponible en la naturaleza, que plantas de crecimiento mayor y más rápido que necesiten grandes cantidades de nitratos que tengan que ser proporcionados por métodos industriales. Pero veamos a continuación, y con más detalle, algunos riesgos asociados a la utilización de las nuevas biotecnologías en plantas.

2.2.6.1. 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, disminuyendo así el rendimiento de las mismas). El problema radica cuando la potencia del herbicida afecta también a las plantas que se quieren proteger; aunque dotándolas de una mayor fortaleza frente 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 cosecha³⁰⁶, 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, y se utilizan en mayor cantidad y extensión. De hecho, 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

³⁰⁶ 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 2 a 5 veces más herbicidas en libras aplicadas por acre, en comparación con los otros sistemas populares de control de malas hierbas. Véase al respecto C. Benbrook: “Evidence of the magnitude and consequences of the Roundup Ready soybean yield drag from University-based varietal trials in 1998”, *Technical Paper of Biotech Infonet*, Nº 1, Sand Point, Idaho, 1999. En <http://www.biotech-infonet.com/RR-yield-drag-98.pdf>.

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, 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.

2.2.6.2. 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, el 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 ejemplo. 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*

thuringiensis (Bt)³⁰⁷; el cual hace que la planta produzca de forma activa una endotoxina en toda la planta, incluidas hojas y frutos. 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 cosechas³⁰⁸. 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 sucedido³⁰⁹. 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

³⁰⁷ 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 Thuringiensis* 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.

³⁰⁸ De hecho, científicos de la Universidad de Carolina del Norte, Estados Unidos, encontraron genes de resistencia a Bt en poblaciones silvestres de una plaga de isocas (larva de lepidóptero que se alimenta del maíz. Véase, F. Gould et al.: “Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* in field populations of *Heliothis Virecens*”, *Proceedings of the national Academy of Sciences*, Nº 94, United States of America, 1997, pp. 3519-3523.

³⁰⁹ 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. Ver al respecto, A. Hillbeck et al.: “Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey of mortality and development of immature *Chrysoperla carnea*”, *Environmental Entomology*, 27(2), 1998, pp. 480-487. Este maíz Bt de Novartis, según datos presentados por la Agencia de Protección ambiental estadounidense, también daño a la colembola, un insecto no volador que se alimenta de hongos y desechos del suelo; y que es considerado como beneficioso (EPA MRID Nº 434635). Citado por Hansen (2000: 17). Otro estudio, el de C. Hansel Jesse y John J. Obrycki, del departamento de entomología de la Universidad de Iowa, que lleva por título: “Field deposition of *Bacillus thuringiensis* corn pollen lethal effects on the monarch butterfly”, y que fue publicado por la revista Oecología, señaló: “We present the first evidence that transgenic *Bacillus Thuringiensis* (BT) corn pollen naturally deposited on *Asclepias Syriaca*; common milkweed, in a corn field causes significant mortality of *Danaus Plexippus L* (Lepidoptera Danaidae) Larvae; common monarch butterfly larvae.” (Jesse y Obrycki, 2000: 1). Recordemos que la mariposa monarca es beneficiosa, puesto que interviene en la polinización de las plantas de la variedad *Asclepias Syriaca* y, además, ingiere las toxinas *cardiac glycosides* provenientes de éstas.

un gen de la *lectina*³¹⁰ de la campanilla blanca, demostraron que los escarabajos mariquitas vaquita de San Antonio que comían áfidos 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.³¹¹

2.2.6.3. 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 semanas encontraron virus mosaico funcionando en una de cada ocho plantas.³¹²

2.2.6.4. Contaminación genética

³¹⁰ Las *lectinas* son una clase de proteínas que resisten la digestión de los insectos.

³¹¹ Véase al respecto A.N.E. Birch et al.: “Interactions between plant resistance genes, pest aphid populations and beneficial predators”, *Annual Report of the Scottish Crop Research Institute*, Dundee, 1997, pp. 66-72.

³¹² Véase al respecto K. Kleiner: “Fields of Genes”, *New Scientist*, 16 de agosto de 1997.

La llamada contaminación genética se da si los transgenes³¹³ 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 contenían genes marcadores de las fresas cultivadas. Posteriormente se halló, también por un grupo de investigadores norteamericanos, que más del 25% de girasoles silvestres que crecían cerca de campos de girasoles cultivados tenían el gen marcador de éstos.³¹⁴ El problema que se plantea con el traspaso de los genes modificados de plantas de cultivo a sus parientes silvestres es que éstos puedan mejorar su adecuación al medio que los 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.³¹⁵ 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

³¹³ Los transgenes son los genes introducidos en la planta para que expresen en ésta los rasgos deseados.

³¹⁴ Véase al respecto J. Kling: “Could transgenic supercrops one day breed superweeds”, *Science*, Nº 274, 1996, pp. 180-181.

³¹⁵ Véase L. Holmes et al.: *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*, University Press of Hawai, Honolulu, 1997.

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*³¹⁶ (BASTA) demostró que la resistencia aparecía en sólo una generación en la mostaza, una especie silvestre relacionada que se cultivaba cerca de la colza transgénica tolerante al herbicida.³¹⁷ 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.³¹⁸ 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 de 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 reproduce en el estado natural sólo consigo misma en una capaz de cruzarse con otras.³¹⁹

2.2.6.5. 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

³¹⁶ El *glufosinato* es un insecticida no selectivo. Lo cual significa que mata cualquier planta que entre en contacto con él. Se vende bajo las marcas BASTA, Liberty, y Pre-havest treatment.

³¹⁷ Véase al respecto T.R. Mikkelsen, B. Andersen, y R.B.Jorgensen: "The risk of crop transgene spread", *Nature*, Nº 380, 1996, p.31.

³¹⁸ Ver al respecto, A.A. Snow, y R.B. Jorgensen: "Cost of transgenic glufosinate resistance introgressed from *Brassica rapa* into weedy *Brassica rapa*", Documento presentado en la reunión anual de la sociedad Ecológica de los EEUU, agosto de 1998.

³¹⁹ Véase J. Bergelson, C.B. Purrington, y G. Wichmann: "Promiscuity in transgenic plants", *Nature*, Nº 395, 1998, p. 25.

del gen deseado en el nuevo anfitrión.³²⁰ 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 de que estos genes resistentes 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 antibióticos. En este proceso las bacterias del medio ambiente podrían también combinarse con otras causantes de enfermedades humanas, y volver a éstas resistentes a antibióticos que anteriormente eran eficaces para combatirlas. 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 2008.³²¹

2.2.7. 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 en 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

³²⁰ 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.

³²¹ 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).

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 introducido³²². Ante semejantes riesgos 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. Todo estos mecanismos nos hacen pensar que en el tema de microorganismos, al menos desde el punto de vista científico, estamos ante riesgos controlados. No se nos escapa la posibilidad de un accidente cuyas consecuencias son difíciles de prever, pero en todo caso se nos antojan graves para el medio ambiente y la salud humana. En el caso de los microorganismos modificados genéticamente tiene una gran importancia el tiempo que éstos van a estar activos, y ello, sobre todo, en el caso de que los mismos traspasen los límites del laboratorio, donde se trabaja confinadamente, y se liberen en el medio ambiente. En el art. 6º de la Directiva del Consejo de la UE relativa a la utilización confinada de microorganismos modificados genéticamente establece en su punto 1º que: “Los Estados miembros velarán por que se adopten todas las medidas pertinentes con objeto de evitar los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente que puedan derivarse de la utilización confinada de microorganismos modificados genéticamente” (Directiva del Consejo 90/219/CEE, 23 de abril de 1990: 3). También la Directiva del Consejo sobre la liberación intencional en el medio

³²² De hecho, como señala Agnés Richaume: “la existencia de un riesgo debido a la diseminación de microorganismos genéticamente modificados debe tenerse en cuenta. El pasado nos ofrece ejemplos en los que la proliferación de microorganismos tuvo consecuencias catastróficas. Por ejemplo, la *grafiosis* del olmo que provoca su desaparición en Europa se debe a la introducción accidental de parásitos causantes de la diseminación de un hongo patógeno (*Graphium Ulmi*), que halló en este árbol un nicho favorable para su desarrollo y propagación (...) El gen introducido en el genoma de una bacteria, puede indirectamente, facilitar su propagación en detrimento de especies originales, y modificar los ecosistemas existentes. El gen mismo puede propagarse. De ahí que sea indispensable seguir su evolución en el suelo.” (Richaume, 1995: 42).

ambiente de Organismos Modificados Genéticamente establece un control estricto sobre los microorganismos u otros organismos modificados genéticamente que se quieran liberar intencionadamente en el medio ambiente. Para ello, aunque sea sólo con fines de experimentación, es necesario cumplir toda una serie de trámites establecidos en esta Directiva, y esperar como señala su Art. 4: “la autorización escrita de la autoridad competente” (DIRECTIVA DEL Consejo 90/220/CEE, 23 de abril de 1990: 15). Referente a los controles establecidos por el Estado español para los riesgos de los Microorganismos y otros Organismos Modificados Genéticamente decir que: en cumplimiento de las Directivas antes apuntadas se promulgó la Ley 15/1994 de 3 de junio de 1994, por la que se establece el régimen jurídico de la utilización confinada, liberación voluntaria y comercialización de Organismos Modificados Genéticamente, a fin de prevenir los riesgos para la salud humana y para el medio ambiente.

Finalmente, recordemos que las Directivas 90/219/CEE y 90/220/CEE relativas a la utilización confinada y a la liberación intencional en el medio ambiente de los microorganismos modificados genéticamente fueron sustituidas por la Decisión 2001/204/CEE del Consejo, de 8 de marzo de 2001, por la que se completa la Directiva 90/219/CEE con respecto a los criterios por los que se establece la inocuidad de los microorganismos modificados genéticamente para la salud humana y el medio ambiente (Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2001/204/CE, 15 de marzo de 2001), y la Directiva 2001/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 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 (Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2001/18/CE, 17 de abril de 2001). Recordemos también que en cumplimiento de estas directivas el Consejo de Ministros de España celebrado el 2 de agosto de 2002 aprobó un proyecto de ley que las incorpora, y que establece que sean las Administraciones centrales las que concederán, caso por caso: los permisos para el cultivo de OGM, su comercialización, su posible liberación al medio ambiente,

el etiquetado de todos los productos que contengan transgénicos, y las sanciones, que pueden llegar hasta 1,2 millones de euros, por el incumplimiento de esta Ley .

2.2.8. Algunos 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). Y 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”³²³

³²³ Estos datos son válidos sólo 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>.

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 (Eosinophilia Myalgia Síndrome, 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.³²⁴

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 Nebrasca, Estados Unidos, confirmaron que un gen alergénico de la nuez de Brasil había sido transferido a la soja³²⁵; y que los individuos alergénicos, en un ensayo *in vitro* y una prueba sobre la piel, reaccionaron ante la soja transgénica como lo hubiesen hecho ante la nuez de Brasil a la que eran alérgicos³²⁶. 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 alergenos comunes, al provenir éstas de plantas de todo tipo, bacterias y virus, cuyo potencial alergénico es todavía bastante desconocido.

³²⁴ Ver al respecto A.N. Mayano, y G.J. Gleich: "Eosinophilia myalgia Síndrome and triptophan production: a cautionary tale, TIBTECH, N° 12, 1994, pp. 346-352.

³²⁵ 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.

³²⁶ Véase J.A. Nordlee et al: "Identification of a brazil nut allergen in transgenic soybeans", *The New England Journal of Medicine*, vol. 334, n° 11, 1996, pp. 688-692.

2.3. 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 percepción³²⁷. Comprender como se produce ésta es muy importante para establecer cuales son las actitudes respecto a ellas; pero también para conocer mejor los mecanismos que utilizan el público lego y el público experto a la hora de legitimar o estigmatizar estas nuevas tecnologías de la vida. Con este fin vamos a utilizar uno de los paradigmas existentes en los estudios sobre la percepción del riesgo, el psicométrico. Es este un paradigma que nos parece interesante y útil para abordar este tema, y cuyos 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, que trabajo sobre la percepción del riesgo de la biotecnología en una población experta. El ámbito de este estudio fue España, y el mismo fue financiado como proyecto de investigación por la Comunidad Económica Europea, contrato BIO2-CT94-0012.³²⁸

2.3.1. 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*³²⁹ su artículo: “Social Benefit Versus Technology Risk: What is our Society 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

³²⁷ 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.

³²⁸ Agradezco a la profesora Ángeles Lizón el que me proporcionará parte del material que voy a utilizar aquí.

³²⁹ Concretamente en *Science*, Nº 165, pp. 1232-1238.

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*³³⁰; y B. Fischhoff, P. Slovic, y S. Lichtenstein en su artículo: “Weighing the risk”³³¹, 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 al riesgo; y para ello era fundamental encontrar nuevos métodos de aproximación al mismo, 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 medir cuantitativamente la percepción del

³³⁰ Publicado por el International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenbergs, Austria.

³³¹ Publicado en la revista Environment, vol. 21, nº4, pp. 17-38.

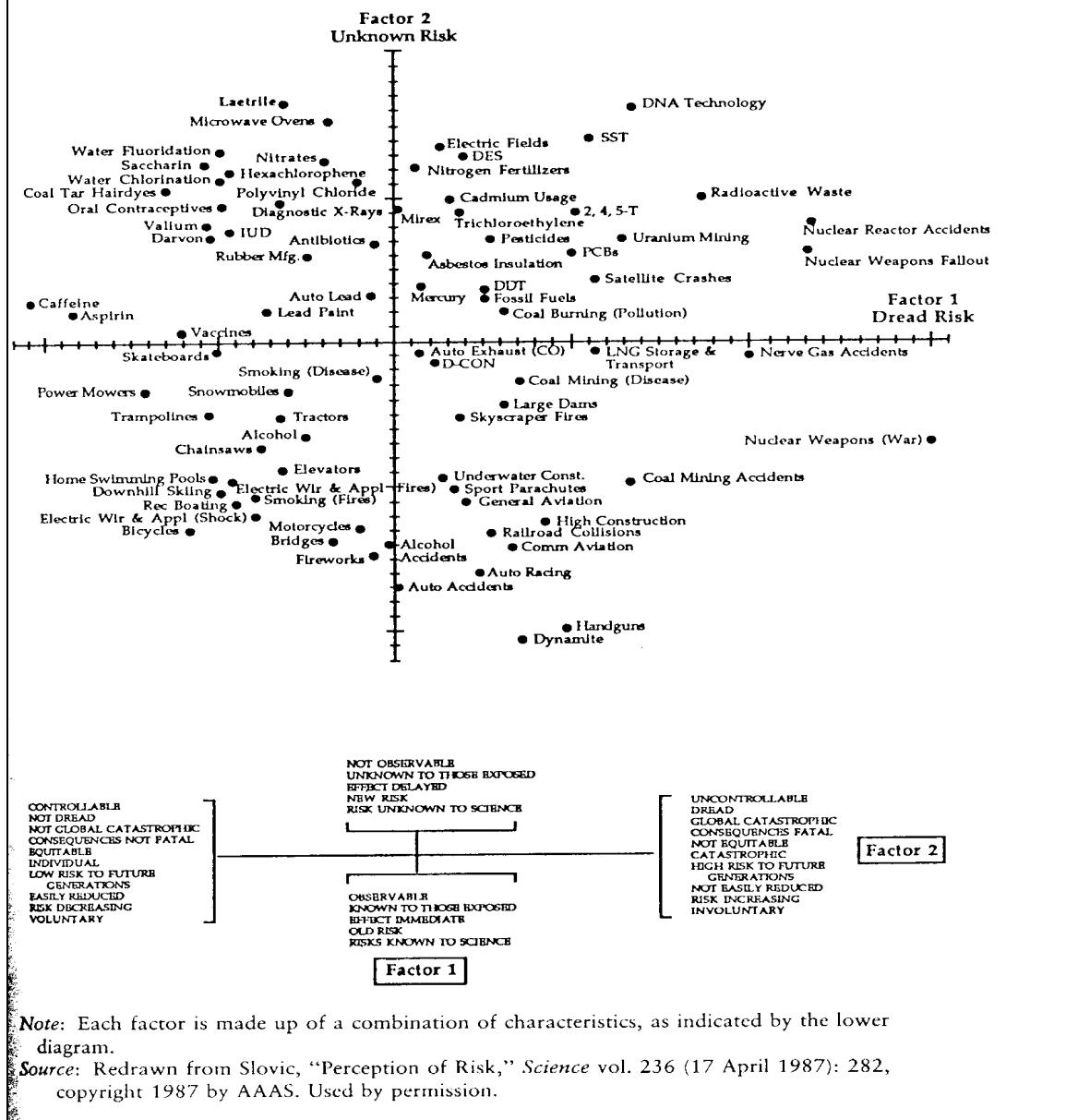
riesgo: técnicas de estimación de magnitudes, y escalas numéricas de clasificación; también se introdujeron métodos tradicionales para observar cuestiones relacionadas con la actitud, y métodos no tan tradicionales como el de la asociación de palabras y de generación de escenarios. Por otro lado, se 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 éste 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.

Uno de los primeros métodos utilizados en el análisis de la percepción del riesgo, por el paradigma psicométrico, fue el de la representación factorial. A través de este método es posible situar espacialmente las diferentes percepciones que el público lego o experto tiene de diversos riesgos. Para ello se sitúan diversas características, características que componen los dos factores que se quieren tener en cuenta, en los cuatro ejes que representan el espacio, y se sitúan las percepciones de riesgos efectuadas en el mismo. La figura que se incluye a continuación nos muestra un ejemplo de representación factorial. En la misma se distinguen dos factores (desconocimiento del riesgo y temor al mismo) basados en las características que se apuntan; y se sitúan espacialmente distintas fuentes de azar que tienen un riesgo potencial. Los resultados que se muestran corresponden a 34 entrevistados, 81 fuentes azarosas, y 15 características por azar. Todo ello permite obtener una representación espacial que refleja el grado en que el riesgo es entendido, y el grado en que provoca un sentimiento de miedo, en cada una de las fuentes de azar que se señalan, al tiempo que nos permite compararlas en su distinta percepción por parte de los entrevistados.

FIGURA 5.1. LOCALIZACIÓN DE 81 FUENTES DE AZAR EN LOS FACTORES 1 Y 2 DERIVADOS DE LAS INTERRELACIONES DE 15 CARACTERÍSTICAS DEL RIESGO

Figure 5.2
Location of 81 Hazards on Factors 1 and 2 Derived from the Interrelationships Among 15 Risk Characteristics



FUENTE: (Slovic, 1987: 282)³³²

En la figura observamos, por ejemplo, como las tecnologías del ADN se sitúan en el nivel más alto de incertidumbre respecto al riesgo, y en uno de los más altos respecto al temor

³³² Citado por Paul Slovic: "Perception of Risk: Reflections on the Psychometric Paradigm", en Sheldon Krimsky y Dominic Goding (eds.), *Social theories of risk*, 1992, p. 123.

que provocan, tan sólo superadas en este caso por los derivados de la energía nuclear, y ello en comparación con el resto de las 81 fuentes de azar examinadas.

Uno de los aspectos que ayudan a entender la localización en el espacio factorial de las fuentes de azar son las señales que amplifican el riesgo. Éstas (compuestas de factores psicológicos, sociales, culturales y políticos) producen informaciones que el lego tiene en cuenta a la hora de percibirlo. De este modo, por ejemplo, un accidente que se produce en un ámbito familiar produce menos temor que uno que se produce en un ámbito no familiar; y ello aunque el primero produzca más víctimas que el segundo.

Sin embargo, el análisis factorial tiene dificultades, e incluso lleva a errores, cuando se trata de analizar y describir las diferencias de percepciones entre individuos. De ahí que se hayan propuesto, para resolver este problema, métodos como: el análisis de componentes principales, escalas multidimensionales, y modelos de cluster. En este sentido, una de las técnicas que más se ha utilizado ha sido la de INDSCAL, que evalúa diferencias individuales a través de la creación simultánea de mapas espaciales de percepciones y evaluaciones individuales diferentes, las cuales se sitúan en dichos mapas. Esto permite producir pesos para cada dimensión y para cada individuo entrevistado; pero también, y como resultado secundario, permite observar los errores cometidos en la observación de diferencias de percepción individuales a través del análisis factorial.

Otros métodos utilizados, en este caso para testar los modelos teóricos sobre percepción de riesgo³³³, han sido los de regresión múltiple, que permite captar la significancia respecto los parámetros estimados y la ecuación de regresión; consiguiendo de esta forma, aunque sea de forma débil, ser confirmatorio. Sin embargo, como lo recuerda Paul Slovic: “*However, such analysis is limited to a single observable criterion variable. In addition, multiple regression*

³³³ Recordemos que el análisis factorial no es confirmatorio, aunque pueda asir variables inobservables.

assumes that all explanatory variables have same status and have a direct effect on the criterion variable.” (Slovic, 1992: 141).

Desde el punto de vista conceptual, un nuevo concepto, el de “estigma”, se ha asociado a la percepción del riesgo, por lo menos desde el paradigma psicométrico que estamos comentando. Las dimensiones de dicho concepto han sido caracterizadas, según refiere Paul Slovic, por Jones et al. de la siguiente manera:

- “1. *Concealability. Is the condition hidden or obvious? To what extent is its visibility controllable?*
- 2. *Course. What pattern of change over time is usually shown by the condition, What is its ultimate outcome?*
- 3. *Disruptiveness. Does the condition block or hamper interaction and communication?*
- 4. *Aesthetic qualities. To what extent does the mark make the possessor repellent ugly, or upsetting?*
- 5. *Origin. Under what circumstances did the condition originate? Was anyone responsible for it, and what was he or she trying to do?*
- 6. *Peril. What kind of danger is posed by the mark and how imminent and serious is it?”* (Slovic, 1992: 142)³³⁴.

La dimensión sexta, como se ve, es la que entra más de lleno en la percepción del riesgo, aunque el resto de dimensiones de la “estigmatización” también están conectadas con dicha percepción. Este concepto ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos y técnicas que se adapten mejor, que los vistos hasta ahora, al tratamiento de ésta. Una de las que se propuso y utilizó fue la de la asociación de palabras, técnica que evoca: el imaginario, el conocimiento, las actitudes, las creencias, el estado afectivo asociado a un ambiente. Esta técnica puede ayudar a comprender el sistema de representaciones subjetivas de la gente para un amplio abanico de conceptos.

³³⁴ Paul Slovic lo extrae de E.E. Jones et al.: *Social Stigma: The Psychology of Marked Relationships*, Ed. W. H. Freeman, New York, 1984.

Otra 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 Slovic³³⁵, dieron resultados como los de 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 toxix 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 tenidas en cuenta en las 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.

³³⁵ Ver al respecto N.N. Kraus, T. Malfors, y P. Slovic: “Intuitive Toxicology: Expert and Lay Judgments of Chemical Risks.” *Risk Analysis*, vol. 12, nº2, 1992, pp. 215-232.

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

Para realizar este apartado hemos hecho uso, como dijimos más arriba, del estudio de Ángeles Lizón titulado: *A metric evaluation of components of public perception in the face of biotechnological risk*. 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, la cual es eficaz para estructurar procesos anónimos de comunicación grupal, y permite manejar problemas complejos a través de la agrupación de las opiniones de individuos dispares. La muestra fue de profesionales del área, profesionales que por lo menos eran expertos en una de las cuestiones tratadas, concretamente estos profesionales eran: académicos, investigadores de centros públicos o privados, empresarios del sector, representantes de la Administración vinculados con la biotecnología, juristas, teólogos, analistas sociales, periodistas científicos; los últimos vinculados con el debate sobre Ciencia-Tecnología-Sociedad y conocedores de las innovaciones biotecnológicas. Se realizó una pregunta en cada escenario, a fin de distribuir a los encuestados por su conocimiento del mismo. De esta forma se configuraron tres grupos: expertos, conocedores, y familiares. La muestra inicial fue de 110 panelistas, de los cuales el 84% contestaron los tres cuestionarios que se les presentaron. El número de respuestas obtenidas permite considerar a la muestra como estable, y estadísticamente significativa de la opinión de los expertos españoles. Los escenarios diseñados fueron los siguientes: el primero se dedicó a cuestiones relacionadas con la inocuidad de la biotecnología; el segundo a los estándares de seguridad técnica referidas a la aplicación de la biotecnología a pequeña escala, en situaciones que se dan habitualmente en las investigaciones realizadas en laboratorio; el tercer escenario incluyó los efectos secundarios o indirectos asociados a la ampliación de escala, es decir con el

uso de la biotecnología en aplicaciones industriales; en el cuarto escenario se introdujeron un conjunto de preocupaciones éticas o reticencias que se encuentran en los debates públicos sobre estas nuevas tecnologías de la vida; el quinto escenario sirvió para evaluar algunas cuestiones sociológicas sobre la evaluación tecnológica, cuestiones como nos lo recuerda Ángeles Lizón: “*lligades a la confiança institucional, la necessitat de legislació i de control de certes investigacions experimentals i aplicacions mediques i industrials.*” (Lizón, 1997: 24). También en este estudio se comparó la opinión de los “expertos” y de los “legos”³³⁶, ello fue posible gracias a la utilización de algunas preguntas, en los mismos términos, del eurobarómetros sobre biotecnología existentes con anterioridad a la realización del estudio (Eurobarómetros 35.1 y 38.1)³³⁷. En definitiva esta estrategia permitió realizar evaluaciones paralelas por sectores de aplicación biotecnológica, y referentes al interés sobre: investigación básica y aplicada, deseabilidad de su promoción y aplicación industrial, necesidad de control y legislación específica respecto a cada una de las acciones mencionadas. Por último, la utilización de una metodología complementaria al final del proceso, la del grupo de discusión, en la que participaron 32 de los expertos del panel, permitió: reducir la perdida de sentido que propician los cuestionarios anónimos, comprender mejor las actitudes de los expertos, obtener observaciones muy interesantes acerca de como este colectivo se reafirma en la seguridad de los procedimientos técnicos, reitera la necesidad de promover la investigación básica y aplicada, y manifiesta sus reservas sobre la posible estandarización y comercialización de determinados resultados o productos biotecnológicos, su voluntad de compartir y delegar responsabilidades globales en materia de biotecnología, y se reafirman en su opinión sobre la ineludibilidad de que existan normativas específicas y controles públicos en las prácticas biotecnológicas, aunque

³³⁶ Aunque nosotros no hagamos referencia expresa en esta sección de los resultados que se obtuvieron aquí. Sí, sin embargo, en el capítulo sexto de esta tesis, dedicado a la opinión pública, sobre las nuevas biotecnologías en España, comentamos alguna cosa al respecto.

³³⁷ En International Research Associates: *Eurobarometer 35.1. Analysis about perceived risks, perceived need of control and support to biotechnology*, Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, marzo de 1991; y International Research Associates: *Interest in science, attitudes about some aspects of science*, Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, otoño de 1992.

matizada con la necesidad de cierta autonomía en los proyectos de investigación e innovación científica. Por último, el juicio técnico de los expertos vino matizado por consideraciones éticas, sociales jurídicas y económicas que rodean a las nuevas biotecnologías. Éstos mostraron preocupaciones éticas y abogaron por responsabilidades compartidas.

Como ya dijimos, en este estudio se evalúa la percepción del riesgo que tienen los expertos españoles sobre las nuevas biotecnologías. En el mismo se mencionan una serie de escenarios posibles donde las nuevas biotecnologías pueden generar riesgos, así como sus posibles causas. En este sentido, se mencionan los fallos de procedimiento en tres ambientes distintos: laboratorios, cadenas de producción y medio ambiente, tanto para la labor que se realiza en ellos como para los residuos que ésta puede generar, y ello en trabajos con: microorganismos, patógenos, semillas, plantas, animales, y humanos. También señala el estudio los errores técnicos, fallos humanos, o abusos como causas posibles de: accidentes con Organismos Genéticamente Modificados (OGM) o derivados, escapes de microorganismos con consecuencias ecológicas adversas, diseminaciones con daños ecológicos irreversibles.

En cuanto a los efectos, el estudio que estamos comentando señala los problemas ecológicos posibles que se derivan de la interacción de los OGM con el medio ambiente (en los casos de: virus, microorganismos, semillas, plantas, y derivados para el consumo animal y humano, y animales o derivados para el consumo humano) que pueden tener consecuencias negativas como: perdida de equilibrio en ecosistemas, convertir organismos inocuos en peligrosos en el nuevo ambiente, o efectos que ni siquiera se prevén. También señala el estudio efectos que la ingeniería genética puede tener para la salud humana, y menciona los siguientes casos: producción agroalimentaria y derivados, diagnóstico y terapia médica, vacunas, mejora de las propiedades en la producción de plantas, tratamiento de residuos, animales para el consumo humano o utilizados en laboratorios, nuevas formas de fermentación asociadas a la producción de alimentos o antibióticos.

No vamos a entrar a analizar con detenimiento los resultados de este estudio³³⁸, 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 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 continua o genérica, y cuando los afectados 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 aquest cas hi ha diferencies significatives entre els grups (p=0,04) i també tendència lineal (p=0,02). Els experts tendien a contestar mes negativament que la resta de la mostra*” (Lizón, 1997: 29). 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

³³⁸ Un resumen del mismo lo podemos hallar en Ángeles Lizón: “Avaluació informal de riscs i perills associats a la biotecnologia: l’opinió experta. Un panel tipus-delphi”, *Ambits*, N° 5, estiu de 1997, Barcelona, pp. 22-36.

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 ellos aspectos que 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 eficacia de los procedimientos técnicos sobre las nuevas biotecnologías, y la evaluación global sobre la inocuidad que hacen de éstas. Esta discrepancia hace suponer, como lo hace la propia directora del estudio que estamos comentando, 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 utilizaciones de estas tecnologías de la vida. Como 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 utilizaciones 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 estamos comentando, una evaluación distinta de las tecnologías de la vida en buena parte debida 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 cuales fueron los resultados de este segundo cuestionario del estudio, cuestionario 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 sinergético (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 4 de los 6 efectos mencionados (2, 3, 4, y 5), y sobre sale de ellos el caso 5 referido a los mecanismos con refuerzo sinergético. 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.

TABLA 5.1.
PONDERACIÓN SUBJETIVA DE LA POSIBILIDAD DE OCURRENCIA, Y ESTIMACIÓN
PROSPECTIVA DE LA SIGNIFICACIÓN ADVERSA DE ALGUNOS IMPACTOS ASOCIADOS
A EFECTOS INDIRECTOS

% DE PANELISTES QUE HO CONSIDEREN	POSSIBLE	I, EN CAS QUE PASSÉS, SERIÓS
1.- Possibilitat d'intervenció en les eleccions reproductives	88,8*	70,1
2.- Desigualtats socials per raons genètiques	88,6*	96,2
3.- Efectes negatius en economies agrícoles tradicionals	86,4*	49,4
4.- Impacte al Tercer Món (substitució de cultius exòtics)	81,5*	83,9
5.- Discriminació negativa per trets genètics	78,8*	87,1
6.- Augment de l'ús instrumental dels animals	76,3*	32,6
7.- Selecció social d'embrions (traços desitjats)	73,8	76,3
8.- Perill de violacions del dret a la privacitat	71,3	95,0
9.- Noues formes d'eugenèsia	66,3	96,2
10.- Restriccions socials per raons genètiques	65,0	80,7
11.- Primacia quasi exclusiva de criteris econòmics i de mercat	64,6	86,6
12.- Discriminació ocupacional deguda a predisposicions genètiques	62,0	80,5
13.- Efectes negatius en el benestar animal	61,3	53,2
14.- Restriccions a la lliure circulació d'informació científica (patents)	58,8	84,5
15.- Perill de pèrdua de biodiversitat (bioagricultura industrial)	51,9	78,2
16.- Discriminació ètnica o racial (malalties típiques d'ètnies)	49,4	81,8
17.- Problemes de monopolí (qüestió patents)	47,5	96,2
18.- "Millora genètica" en lloc de control de defectes genètics	37,9	91,0
19.- Experimentació in vitro amb embrions	36,3	94,9
20.- Noues formes d'intolerància	32,9	88,3
21.- Perill d'extrapolació de tècniques de clonació a humans	31,3	93,8
22.- Abusos de la informació genètica	28,8	78,5
23.- Efectes de medicina o mercat amb impacte negatiu en el consum	11,3*	60,8

FUENTE: Lizón (1997: 31)

Los asteriscos muestran los impactos donde existe consenso de ocurrencia o no ocurrencia de los impactos asociados a 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, 15 de los impactos mencionados alcanzan más de un 50% de opiniones en que los consideran posibles (1-15), y sólo en 8 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 3, 6, 13, 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 Àngels Lizón: “*Si s’ha gués ampicat el quiesctionari a l’ambit europeu, com a mínim en enunciats com aquests, s’haurién donat curioses diferències.*” (Lizón, 1997: 31).

A continuación pasaremos a comentar someramente algunos resultados interesantes que se obtuvieron gracias al procesamiento métrico de los datos obtenidos, en concreto de los índices, que utilizando descriptores estadísticos globales³³⁹, se construyeron. El primer índice construido fue el referido a 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 éste 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 práctica biotecnológica; éstos creyeron que las mismas sí operaban como restricciones efectivas del desarrollo de la biotecnología. El sexto índice, sobre sensibilidad ética, mostró que los entrevistados creían que las consideraciones éticas

³³⁹ 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 1 y 3, y por tanto el “encuestado neutro” presenta una puntuación de 1,5.

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 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 restricciones 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: “*Les consideracions ètiques han restringit i continuaran restringint, certament, les possibilitats tècnicament efectives d'algunes línies d'investigació experimental i de determinats usos mèdics i industrials. Evidentment, no tot el que és tècnicament possible és èticament acceptable.*” (Lizón, 1997: 35). Esto implica en el fondo que no todo lo técnicamente posible debe realizarse, lo que esta en contra del llamado imperativo técnico: “hay que hacer todo lo posible, realizar todas las experiencias (...) poder implica deber” (Hottois, 1999: 68)³⁴⁰

Por último, y siguiendo algunas de las propias conclusiones de la directora de este estudio³⁴¹, el perfil medio del experto de la muestra tiene confianza en la seguridad y eficacia en los procedimientos utilizados en la biotecnología, en proyectos inclusive; 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 está 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

³⁴⁰ 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 Gilbert Hottois: *El paradigma bioético. Una ética para la tecnociencia*, Ed. Anthropos, Barcelona, 1991, p.120.

³⁴¹ Conclusiones que se hallan en Ángeles Lizón: “*Avaluació informal riscs i perills associats a la biotecnologia: l'opinió experta. Un panel tipus delphi*” *Ambits de politiques i sociologia*, nº 5, Ed. Col.legi de Doctors i Llicenciats de Ciències Polítiques i Sociologia de Catalunya, 1997, p. 36.

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 utilizaciones 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.

3. El debate ético

Es este un punto de indudable trascendencia, tanto para el desarrollo de las nuevas biotecnologías en relación a las decisiones sobre los controles y prohibiciones que se establezcan en torno a las mismas, como para la sociedad, en virtud del impacto positivo o negativo que las mismas puedan tener en los principios éticos. El debate en torno a ellas está compuesto por gran cantidad de matices que no vamos a tratar aquí en toda su extensión dada su amplitud y complejidad. Sí, sin embargo, nos interesa resaltar con brochazos lo más precisos posible, e intentando aproximarnos a configuraciones de “tipo ideal”³⁴², aquellos relacionados con las nuevas tecnologías de la vida aplicada a humanos que creemos más importantes.

Para ello, en primer lugar, nos referimos a las consecuencias que para un embrión puede tener un diagnóstico genético, a través del cual se puede llegar a plantear la posibilidad de “abortos selectivos” según determinados grupos que se oponen al aborto. Entre estos grupos destaca por su importancia la iglesia católica. Creemos que estos grupos identifican en sus críticas al “aborto selectivo” con el diagnóstico genético, por lo que dejan de lado que son los progenitores quienes toman la decisión de abortar o no, y que una mayor información sobre enfermedades genéticas no les obliga a ello. Destacamos el hecho de que el diagnóstico genético

³⁴² El concepto de “tipo ideal” que utilizamos es el que Max Weber define en Economía y Sociedad. Véase al respecto, Weber, M.: *Economía y Sociedad*, Ed. Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1993, pp. 16-18. La edición alemana original es de 1922.

lo que hace es dar mayor información sobre los posibles defectos genéticos de un embrión, lo que disminuye la incertidumbre respecto a que éste padezca realmente, cuando nazca, enfermedades hereditarias de indudable dolor físico y psíquico tanto para la futura persona como para los que de ella se hagan cargo. También consideramos que los temerosos de las consecuencias del “aborto selectivo”, provocado supuestamente por el diagnóstico genético, olvidan que todos los abortos son selectivos, pues obedecen a razones propias de los progenitores: peligro de la vida de la gestante, efectos psicológicos negativos en la futura madre porque el embarazo se produce tras una violación, causas de tipo económico, etc. Otra cosa es que no se hagan distinciones y se rechace el debate en todos los casos; en este supuesto carece de sentido rechazar el diagnóstico genético porque provoque abortos selectivos, pues se rechaza el aborto no porque sea selectivo, sino porque es aborto. Es decir, se está en contra de la consecuencia independientemente de su causa. El argumentar que se rechaza la causa (aquí la “selección”) es olvidar, cuando menos, que la causa es otra (la elección entre alternativas), y que el diagnóstico genético es sólo un medio informativo que permite elecciones racionales informadas a los progenitores, pero que no les niega la alternativa de no abortar si esa es su elección. Otro aspecto al que nos referimos, y que nos parece una crítica más refinada, lo desarrollan los abogados de los “discapacitados genéticos”. Estos afirman que el diagnóstico genético y su posibilidad de “aborto selectivo” conducen en último extremo a la minusvaloración de los enfermos genéticos, y ello porque si la vida de un embrión con una discapacidad genética no vale nada, la vida de un enfermo con esa discapacidad genética tampoco vale nada. En último extremo esta consecuencia nos lleva al dilema de sí debemos o no permitir que nazcan futuras personas que con gran probabilidad padecerán enfermedades genéticas dolorosas e incurables, y ello para que no disminuya el valor de la vida de los enfermos genéticos que ya las padecen. En este caso nos mostramos partidarios, junto con Allen Buchanan, de que: “*In some cases justice, in the name of equal opportunity demands intervention*” (Buchanan, 1996: 46), y que es ahí donde hay que centrar este debate, es decir, en la articulación y contenidos de dicha intervención. Al final de este punto señalamos que es en

los valores de la propia sociedad donde se debe encontrar la valoración de los “discapacitados genéticos”, y no en el diagnóstico genético.

En segundo lugar, hacemos referencia a la terapia genética del embrión; señalando en que consiste ésta, y distinguiendo entre la que se podría establecer para células somáticas, que afectarían solo al individuo sometido a esa terapia, y la que se podría establecer en las células germinales, que afectaría al individuo sometido a terapia y a toda su descendencia, y que por tanto puede afectar en última instancia a toda la especie humana. Señalamos la importancia de desarrollar los aspectos positivos de curación de enfermedades terribles en los que todos estaríamos de acuerdo, y de intentar controlar al máximo los aspectos negativos de utilización de las técnicas de terapia genética, que podrían utilizarse para programas eugenésicos. Estos aspectos negativos, debidos a la doble cara de las biotécnicas aplicadas a humanos, han llevado por primera vez en la historia de la política científica a tener en cuenta de forma prioritaria los aspectos éticos, sociales y normativos en los programas públicos de Investigación y Desarrollo.

En tercer lugar, nos centramos en el estatus del embrión, situándonos primero en el marco semiidílico de la erradicación de enfermedades hereditarias que plantea el diagnóstico y la terapia genética en embriones. Después nos referimos a la admisibilidad ética de permitir el desarrollo de estas técnicas por medio de la manipulación embrionaria. En este apartado tratamos también de las teorías que pretenden ser la base a tener en cuenta de una futura legislación sobre el estatus del embrión: teoría del derecho, teoría del interés, la teoría del incremento de la protección que es una mezcla de las dos anteriores, y la teoría de los valores. Cada una de ellas presenta ventajas e inconvenientes respecto a las otras, pero ninguna de ellas soluciona de forma definitiva las problemáticas que debe resolver una legislación sobre el estatus embrionario; y que se resumen en establecer un marco que garantice los derechos del embrión (derecho a la vida), y los derechos de los enfermos genéticos (derecho a una mejora de su calidad de vida, o erradicación de su enfermedad por medio de terapia genética a la que se

puede llegar por medio de investigación embrionaria), y derecho de los investigadores a investigar libremente (sin que se le pongan trabas no objetivas) en un área que es de su interés.

En cuarto lugar, tratamos el caso especial de los “niños de diseño”. Para elaborar este apartado presentamos un escenario hipotético futuro en el que se pueden diseñar características físicas y potenciales aptitudes en el embrión sin apenas riesgos. El proceder así nos permite acercarnos a las posibles consecuencias que se derivan de un escenario donde los progenitores puedan comprar el diseño de su progenie. Señalamos que las actuaciones racionales de los individuos, en un escenario en el que se permite la manipulación genética con fines eugenésicos de mejora física, y de potenciales aptitudes de los embriones, conllevan la posibilidad de entrar en un juego único de dilema del prisionero cuya consecuencia es la de que los progenitores diseñen a su progenie conforme al canon de moda vigente, y las capacidades sociales más valoradas. En el nuestro escenario hipotético esto conduce inevitablemente a una uniformidad física y de capacidades de los individuos de esa sociedad. Si en vez de los progenitores fuera un Estado quien decidiera las características físicas y potenciales aptitudes de los futuros individuos, mediante la manipulación genética en los embriones, nos encontraríamos muy probablemente ante la anti-utopía que Aldous Huxley escribió en *Brave new world*³⁴³.

En quinto lugar, tratamos, a través de un escenario hipotético, de las consecuencias éticas y sociales de permitir el diseño genético de adultos, tanto de sus características físicas como de sus capacidades. En ambos casos, a nuestro entender, entramos de nuevo en un juego de dilema de prisionero, pero esta vez si serán posibles estrategias de <<toma y daca>> que maticen las consecuencias negativas ya apuntadas para el caso del embrión. En un escenario hipotético como el presentado la mercantilización de capacidades mediante “programas genéticos” de adquisición de conocimiento tendría importantes consecuencias colaterales.

³⁴³ Véase al respecto a Aldous Huxley: *Un mundo feliz*, Ed. Editores Mexicanos Unidos, México, 1992.

Mencionamos la desvalorización del propio conocimiento y la peligrosa perdida de autocritica y crítica, tan importantes ambas para que éste avance.

El último punto que tratamos es el caso especial de los no autónomos con relación a la manipulación genética. Este caso especial nos plantea el problema ético y social de como se debe actuar ante los casos en que un individuo al cual se le va a manipular el genoma no tiene o ha perdido su autonomía, y por tanto es un tutor quien decide por él. ¿En estos casos se debe considerar que es el tutor quien debe decidir sobre el genoma de su tutelado? No olvidemos que el genoma de enfermos que han desarrollado una enfermedad genética puede ser muy interesante de investigar. La respuesta a esta interrogante no es nada fácil y plantea el interrogante desde hasta qué punto es admisible esto. Planteamos que una posible solución a este dilema, para el caso de los que pierden su autonomía por enfermedad genética, puede ser la posibilidad de dictar un “testamento genético” similar a los denominados “testamentos de vida”, en el que una persona capaz decida como debe tratarse su genoma en caso de perder su autonomía por incapacidad mental. La posibilidad de proceder así dependerá en buena medida del acceso a un diagnóstico genético fiable, y a la creación de unos instrumentos legales que permitan decidir sobre el propio genoma antes de que sobrevenga la incapacidad mental.

3.1. 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 abortar³⁴⁴. Esta decisión plantea un problema ajeno al

³⁴⁴ Aquí suponemos que no existe una terapia genética que elimine el defecto detectado.

diagnóstico que depende de múltiples factores, factores que aquí no vamos a analizar. Sí, 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 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 humana³⁴⁵. Ello 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 adulta³⁴⁶, debe condicionar un aborto por sus consecuencias finales, o debemos considerar el buen vivir antes de la aparición de la enfermedad. Todos estos son interrogantes que cuestionan la bondad del diagnóstico genético para algunos grupos sociales, y especialmente para aquellos 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

³⁴⁵ Véase al respecto, desde un punto de vista legalista, por ejemplo, a Wibren van den Burg cuando 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 den 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).

³⁴⁶ 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).

puede conllevar “abortos selectivos”, pero también lo es que todos los abortos son selectivos, ya que los mismos dependen de “decisiones razonadas condicionadas”³⁴⁷. Es por ello que el término “aborto selectivo” nos parece poco adecuado para la crítica. En último término, el 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.

Pero veamos cuáles son estos argumentos. En primer lugar, la disminución de las enfermedades genéticas³⁴⁸ 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 Socialista³⁴⁹. La

³⁴⁷ Definimos aquí “decisión razonada condicionada” como aquella que se produce tras la evaluación individual de las condiciones de situación individuales y colectivas.

³⁴⁸ Para el caso que estamos aquí comentando la disminución se produce a través del aborto de los “discapacitados genéticos”.

implicación de lo anterior es la perdida 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 éstas enfermedades genéticas no dejando nacer a los embriones en que se detectan?

Llegará el momento en que deberemos decidir quien puede padecer “discapacidad genética” y quien no. En ese momento tanto el individuo como la sociedad se van a enfrentar a difíciles problemas de decisión. Éstas 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 individuales³⁵⁰.

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”³⁵¹ 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.

³⁴⁹ Una breve, pero interesante reflexión sobre la eugenesia en la Alemania Nazi la realiza Benno Müler-Hill: “La desigualdad genética y la injusticia social: una lección de la historia”, Santiago Grisolía (Ed.), *Proyecto Genoma humano: ética*, Ed. Fundación BBV, Madrid, 1993: pp. 381-389.

³⁵⁰ Aquí puede ayudarnos la distinción entre: “preferencias subjetivas, aquellas que reflejan nuestro interés privado en sentido básicamente egoísta (...) y preferencias éticas que presentan un balance entre nuestros intereses y el interés ajeno.” (Aguilar, 1990: 31)

³⁵¹ Para Allen Buchanan: “That an adequate account of justice will include a place for a commitment to equal opportunity” (Buchanan, 1996: 24). 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* y sobre todo en el capítulo segundo sobre los *principios de la justicia*, pp. 75-141. La edición que hemos consultado es John Rawls: *Teoría de la Justicia*, Ed. Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1995.

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.

3.2. Debate ético sobre la terapia génica en el embrión³⁵²

La terapia genética del embrión plantea problemas éticos y sociales de indudable trascendencia, al tiempo que levanta pasiones encontradas. Problemas como: la desvalorización de los enfermos genéticos, comentado más arriba; de la posibilidad de que una terapia curativa sirva a intereses eugenésicos de mejorar 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 económico 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 la terapia genética 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

³⁵² Existe dos tipos principales de células, y por tanto existen dos formas diferentes de plantear la terapia genética. 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 que por tanto 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 que por tanto 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.

aspectos éticos, sociales y normativos en los Programas Públicos de Investigación y Desarrollo³⁵³.

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.

3.3. El estatus del embrión con relación a la manipulación genética

Desde el punto de vista de la ingeniería genética aplicada a humanos el diagnóstico y terapia génica aplicada a embriones constituyen las posibilidades más atrayentes. Por un lado, el diagnóstico genético embrionario permitirá detectar anomalías genéticas que conducen a enfermedades de gran sufrimiento y de consecuencias mortales, como pueden ser: “la atrofia muscular espinal, dolencia que mata al niño antes de que cumpla los nueve meses, o en el de la enfermedad de Tay Sachs que afecta a individuos procedentes del este de Europa y de origen judío y 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 estaría de acuerdo, al

³⁵³ 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.

menos en principio, en que es bueno³⁵⁴ conocer la “normalidad” del embrión 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 éste 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 en 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 la cuestión de: 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 haya superado en mucho casos los treinta años? Este embrión bien podría decidir cuando fuera persona capaz como debería tratársele en caso de que llegara a desarrollar la enfermedad.

³⁵⁴ Entendemos aquí bueno como “bueno moral”; considerando que tanto el diagnóstico genético como la terapia génica pueden ajustarse en lo planteado, para una gran mayoría, a lo “deseable” o “devido” desde un punto de vista moral. Para una mejor definición de lo “bueno moral” en el sentido en que aquí lo utilizamos véase Norbert Bilbeny: *Aproximación a la ética*, Ed. Ariel, Barcelona, 1992, pp. 256-259.

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 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 técnicas³⁵⁵. 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 la de los cultivos celulares que abren la puerta a la creación de tejidos y órganos humanos para transplantes.

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, y que el hacerlo traería consigo consecuencias no predecibles. 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 et al., 1992: 28).

Deberíamos ser capaces de controlar los aspectos negativos del diagnóstico genético y la terapia génica si queremos que éstas desarrollen correctamente sus indudables ventajas. También deberíamos ser capaces de establecer los criterios éticos normativos que nos permitan

³⁵⁵ La clonación y el cultivo de células humanas está empezando a ser técnicamente posible, y sólo 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, un 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 10 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 transplantes. Véase al respecto, El País: “Los expertos temen que el plan para clonar niños obstruya los cultivos celulares para transplantes”. En <http://www.elpais.es>, 16 de junio de 2001.

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 éstas últimas parecen ganar partidarios la idea de condicionar la manipulación embrionaria al estado de gestación³⁵⁶. Pero veamos a continuación algunos de los marcos teórico-éticos que se han propuesto como base del estatus del embrión.

3.3.1. El estatus del embrión según la teoría del derecho

La teoría del derecho establece una función protectora del individuo frente al Estado y a otros individuos. Esta función protectora del individuo, que se establece como garantía ante conflictos, ha generado un sistema de derechos individuales que con el tiempo se ha ido ampliando y llenando de contenido.

En esta teoría el embrión es tratado como un caso especial al que se le aplica la función protectora de forma diferente a la de como se aplica en un adulto. De este modo los derechos de un adulto son distintos y mayores a los de un niño, y los de éste son a su vez distintos y mayores a los de un embrión. ¿Pero cuáles son los derechos de un embrión desde esta perspectiva? En primer lugar, existe en este caso un derecho sin el cual los demás carecerían de sentido, este derecho es el derecho a la vida. Este derecho a la vida de los embriones se contrapone en

³⁵⁶ 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 den Burg, 1996: 79).

algunas ocasiones a algunos derechos de los adultos. Por ejemplo, el derecho a una mejor calidad de vida o a una terapia eficaz contra la enfermedad genética pueden verse seriamente limitados por una prohibición total de la investigación en embriones.

La cuestión que se plantea es de si la teoría del derecho es capaz de resolver estos conflictos. Para responder a esta cuestión debemos establecer, en primer lugar, cuales son los criterios que a nuestro entender debe cumplir una buena teoría que pretenda servir como base al establecimiento de un estatus del embrión. En este sentido Wibren van den Burg señala los siguientes criterios³⁵⁷:

- “1) La teoría debe ser coherente y justificable;
- 2) la teoría debe ofrecer un esquema concreto de regulaciones y soluciones prácticas respecto a la mayoría de problemas normativos más importantes relacionados con el uso de embriones;
- 3) la fundamentación teórica y las soluciones prácticas deben tener un alto grado de legitimidad, ser aceptadas por la mayoría de los ciudadanos y por la mayoría de los directamente afectados.” (Van den Burg, 1996: 74-75)³⁵⁸.

Pero veamos a continuación si la teoría del derecho es compatible con los tres criterios establecidos. Si la teoría del derecho quiere ser coherente consigo misma debe establecer algún tipo de protección del embrión. Esto la conduce a debilitarse en el criterio de legitimidad, pues debe basarse en un derecho a la vida del embrión absoluto si quiere mantener su coherencia interna, puesto que en último término todo derecho de éste depende de este primer derecho. Por otro lado; de no proceder de esta forma la teoría del derecho, que pretende ser el marco para una futura legislación del estatus del embrión, entraría en controversias de difícil solución sobre en que casos y porque se admitiría manipulación genética embrionaria. La perdida de legitimación se produce, porque al priorizar el derecho a la vida de los embriones sólo se admite un diagnóstico o terapia a favor de ellos; lo que condiciona, si no elimina, la posibilidad de

³⁵⁷ Nosotros suscribimos plenamente los mismos.

³⁵⁸ En inglés en el original.

investigación embrionaria. Esto supone, en el fondo, no tener en cuenta el derecho de los adultos afectados, o con posibilidad de serlo, por una enfermedad genética a que se investigue en genomas embrionarios, a fin de que la ciencia halle un remedio a su enfermedad, o por lo menos mejore su calidad de vida. También supone no tener en cuenta el derecho a la libertad de un investigador de elegir su campo de investigación. La falta de legitimidad ante estos grupos de la teoría del derecho hace que ésta sea poco atrayente a la hora de servirnos como marco teórico-ético del estatus del embrión. Así pues debemos buscar nuevas teorías que nos sirvan para tal fin.

3.3.2. El estatus del embrión según la teoría del interés

La teoría del interés pone su énfasis en la función instrumental. La función instrumental es utilizada como balanza de conflicto de intereses. Con esta teoría nos es posible dar cuenta de los intereses que con relación al embrión tienen las personas aquejadas, o con potencialidad de serlo, por una enfermedad genética, y los investigadores que pretenden utilizarlos en sus investigaciones.

El problema de esta teoría surge en el momento en que intentamos conceptualizar los intereses del embrión. En principio podríamos establecer que los intereses de un embrión son aquellos que le permiten llegar a ser persona sin que ningún uso de él pueda afectarle en tal sentido. Pero este criterio restringe demasiado la posibilidad de investigación como para ser admitido por investigadores y afectados. Este es un criterio que además de ser aplicado para todo embrión supone que todos ellos llegaran a ser persona. ¿Pero qué ocurre cuando el embrión no llegará a ser persona? ¿Debemos seguir respetando el interés de un embrión por llegar a ser persona cuando no llegará a serlo nunca, o debemos respetar el interés de algunos enfermos o potenciales enfermos genéticos, y el de los investigadores que desean que se realicen investigaciones en él?

Una de las soluciones que se han adoptado dentro de esta teoría para resolver el conflicto de intereses planteado es la de periodificar conforme al estado de gestación cuando el embrión empieza a tener interés en nacer, y por tanto debe aplicársele un derecho a la vida que excluya cualquier investigación genética que no se realice con fines de diagnóstico y terapia para el propio embrión. En este sentido, se ha sugerido la sexta semana de gestación³⁵⁹ como el momento a tener en cuenta para el derecho a la vida del embrión, el momento en que éste inicia su interés por nacer. Esto implica que un embrión antes de la sexta semana no tendría interés por nacer, aunque también es posible que no lo tuviera a la sexta semana y unas horas, o lo tuviera a la sexta semana menos unas horas. En realidad el tema de la periodificación nos remite al problema, a nuestro entender irresoluble, del inicio del interés a nacer del embrión, inicio que está vinculado al inicio del derecho a la vida que le otorgamos; y ello porque no existe una base objetiva dentro del crecimiento del embrión que nos permita establecer con claridad el inicio de ese interés o derecho. No podemos vislumbrar la diferencia entre un embrión de seis semanas menos un minuto y uno de seis semanas y un minuto, y sin embargo el primero podría investigarse y el segundo no. Este problema subsiste independientemente del período de gestación que elijamos como inicio efectivo del derecho a la vida del embrión.

Ni la teoría del interés ni la del derecho, en la idea de un incremento de la protección en el embrión, son capaces de encontrar fundamentos sólidos que justifiquen objetivamente los estadios de protección. Tampoco la periodificación conforme al estado de gestación que asigne en el tiempo el derecho a la vida y el interés a nacer de un embrión protegen a éste efectivamente, puesto que siempre puede ser investigado y manipulado en una etapa anterior al inicio de tales derechos e intereses.

Por otro lado, la periodificación entra en conflicto con la legitimidad al ser considerado todo embrión, independientemente de su estado de gestación, como vida humana. Como tal vida

³⁵⁹ La sexta semana de gestación es cuando se inicia en el embrión el desarrollo del sistema nervioso.

humana, el embrión no debe ser usado para fines de investigación que le impidan llegar a ser vida. Por las mismas razones resulta también poco legítimo crear embriones con el único propósito de ser investigados y manipulados.

La teoría que estamos estudiando no satisface los intereses de los investigadores por investigar embriones, ya que les pone trabas a la investigación sin que haya motivos objetivos que justifiquen los estadios prohibitivos a los que la sujeta. No debemos olvidar que en una sociedad democrática no resulta aceptable restringir la libertad de los investigadores por parte del Estado sin motivos objetivos que la justifiquen. Lo cual no parece el caso, puesto que se admite la investigación de un embrión de seis semanas menos un minuto y no la de un embrión de seis semanas y un minuto. ¿Cuál es la diferencia objetiva sustancial que permite que esto sea así? ¿Quiere decir esto que embriones que no estén en estado de gestación pueden ser investigados? La teoría que estamos analizando no da respuestas claras y convincentes a estos interrogantes.

Por último, esta teoría no satisface el interés de enfermos genéticos, o con potencialidad de serlo, de mejorar su calidad de vida o curarse de su enfermedad por medio de una investigación en embriones, que en mayor o menor plazo dé resultados positivos para una terapia³⁶⁰.

Dadas las consideraciones apuntadas, consideramos que la teoría del interés, y su propuesta compartida con la teoría del derecho del incremento de la protección, no es capaz de encontrar fundamentos sólidos que justifiquen la periodificación que propone, y que por tanto: no soluciona satisfactoriamente la protección del embrión frente a usos

³⁶⁰ Sin duda los enfermos de Parkinson han visto abrirse una puerta a la esperanza con el experimento de un grupo del Utrecht Hubrecht Laboratory; en el que a través de una estimulación bioquímica del preembrion en sus primeras fases, se ha desarrollado una línea continua de células cerebrales. Véase al respecto Wibren Van den Burg: "Legislation on Human Embryos: from Status Theories to Values Theories", *Archives for Philosophy of Law and Social Philosophy*, Vol. 82, 1. Quartal, Heft 1, 1996, pp. 73-87.

no legitimados socialmente; el derecho de enfermos genéticos a que mejore su calidad de vida, o se halle a través de la investigación embrionaria una terapia curativa para su enfermedad; y el derecho de los investigadores a investigar en embriones sin trabas que no puedan justificarse objetivamente. Debemos pues seguir indagando en otras teorías ético-normativas, teorías que nos sirvan mejor para conseguir un estatuto del embrión que responda a las principales controversias que el mismo plantea:

- “1. ¿Debemos permitir experimentos no terapéuticos en el embrión?
2. ¿Debemos permitir crear embriones con el único propósito de ser usados para investigación?
3. ¿Debemos establecer justificaciones éticas basadas en períodos de gestación transcurridos?” (Van den Burg, 1996: 80)³⁶¹.

3.3.3. El estatus del embrión según la teoría de los valores

Esta teoría, basada en la función expresivo comunicativa y simbólica que tiene la Ley, surge de la necesidad social de una doctrina legal coherente que sirva de base legislativa al estatus del embrión. No debemos olvidar que pese a no haberse encontrado todavía la teoría más adecuada para dicha legislación; sí existe, al menos, consenso en que debe haber legislación sobre el tema³⁶².

³⁶¹ En inglés en el original.

³⁶² Por ejemplo, en España, en 2002, ha habido un intenso debate, entre investigadores y legisladores, en el que los primeros han presionado a los segundos para que exista una legislación permisiva, es decir, que se pueda investigar en embriones, por lo menos en aquellos que no llegarán nunca a ser persona, pues no se insertaran en el útero de una mujer para su reproducción. Este debate ha tenido como telón de fondo las enormes expectativas que, respecto a enfermedades genéticas graves, han despertado las investigaciones en torno a las células madre embrionarias. Recordemos que una combinación de la técnica que permite extraer y acrecentar (también empieza a ser posible manipularlas) estas células madre, junto con las técnicas de clonación, posibilitaría la creación de tejidos y órganos que fueran inmunes al rechazo. Recordemos también que en el momento de escribir esto, finales del 2002, en nuestro país, a diferencia de lo que ocurre en el Reino Unido, están prohibidas: la experimentación con embriones humanos para obtener tejidos, la clonación de humanos, y la clonación de células embrionarias.

La función expresivo-comunicativa inserta en la Ley implica que la misma sirve de guía de valores para los ciudadanos; y ello es así porque se instaura en el imaginario social dándole a aspectos nebulosos del mismo contenidos que le sirven de luz. En este sentido, la Ley se convierte en una especie de faro de valores para la sociedad que los genera. La función simbólica de la Ley consiste precisamente en esto.

Para la teoría de los valores la legislación del estatus embrionario debe expresar los valores de la sociedad respecto al embrión si es que quiere cumplir con su función expresivo-comunicativa, y de esta forma servir de guía a los ciudadanos. Ello requiere, en primer lugar, construir una teoría del valor que responda con acierto: a problemas surgidos por los conflictos entre valores, a la diversidad valorativa entre distintas sociedades e incluso grupos sociales, a cambios valorativos por la evolución social³⁶³.

Esto significa que el legislador debe decidir sobre los valores que se deben insertar en la Ley. Una cuestión resuelta habitualmente a través de la vía procedural, vía que tiende, y tiene el inconveniente, de favorecer a aquellos valores que mejor se expresan en las formulaciones legales. Esto supone no sólo la inserción de valores en la provisión estatutaria con un procedimiento que implique sus consecuencias prácticas, sino también que la inserción de éstos se haga de tal forma que suponga su reconocimiento como valor, y como valor que tiene su significado en el contenido que se le da a través de la forma. De esto se desprende, en último extremo, que los valores relevantes quedan subsumidos bajo formas jurídico-legislativas; y éstas, al menos eso creemos, tienden a preferir a aquellos que mejor se adaptan a sus

³⁶³ Como es sabido, la axiología y en concreto su corriente de la ética material de los valores constituyó desde finales del siglo XIX hasta acabada la segunda guerra mundial una de las teorías predominantes en el planteamiento de los problemas morales. El pesimismo en torno a los valores morales surgido a consecuencia de la segunda guerra mundial derrumbó de forma estrepitosa esta teoría ética cuyos máximos representantes fueron Max Scheler, Eduard von Hartmann y el norteamericano Wilbur M. Urban. Una buena reseña de los planteamientos de la corriente de la “ética material de los valores” la podemos encontrar en Ricardo Molandi: “Axiología y fenomenología”, en Victoria Camps, Osvaldo Guariglia y Fernando Salmerón (Eds.), *Concepciones de la ética*, Ed. Trotta, Madrid, 1992, pp. 73-103.

procedimientos. De ser esto cierto, valores relevantes para la legislación del estatus del embrión se dejarían de lado.

La teoría del valor entendida en su función expresivo-comunicativa no resuelve satisfactoriamente los problemas derivados de las diferencias valorativas de distintas sociedades y colectivos, así como las contingencias temporales que sufren los valores. Estos problemas han supuesto la búsqueda de refinamientos que permitan dentro de esta misma teoría solventarlos, o al menos hacer satisfactorias las soluciones que se proponen para evitarlos.

Uno de estos refinamientos lo encuentra Wibren van den Burg en la teoría de la vida que hay detrás de los argumentos del libro de Ronald Dworkin: *El dominio de la vida: una discusión acerca del aborto, la eutanasia y la libertad*. La teoría de Ronald Dworkin subraya el hecho de que cada vida humana es sometida a valores, pero hay uno que nos unifica como seres humanos y es el de “la santidad o inviolabilidad, en cualquier etapa en que se encuentre, de cualquier vida humana” (Dworkin, 1994: 311). Para el caso que nos ocupa la santidad o inviolabilidad de la vida no remiten a discusiones interminables sobre el valor de la vida, pues ya queda establecido que el valor máximo de la misma es su santidad e inviolabilidad. El proceder así nos permite centrarnos en los valores que conciernen al tratamiento del embrión, y en si es posible compatibilizar éstos con la santidad e inviolabilidad de la vida. Al respecto, la teoría del valor referida al estatus embrionario queda refinada en sus objetivos, pasando del valor que debe concederse al embrión a los valores que deben guiar su tratamiento.

Creemos que este cambio de objetivo lo que hace es plantear el problema en forma de condicionantes de admisibilidad de los tratamientos embrionarios. Es decir, traslada la argumentación a aquello que la colectividad considera admisible desde el punto de vista procedural. También creemos que esto sólo significa darle otra vuelta de tuerca al problema

valorativo, pero no lo resuelve, ya que en último término los valores procedimentales (de segundo orden) se remiten al valor social concedido al embrión (de primer orden).

Nos parece que el problema del estatus del embrión planteado desde la teoría de los valores nos lleva hacia el callejón sin salida del relativismo moral³⁶⁴, ya que remite en último extremo a los valores que una sociedad concreta tiene con relación al embrión, a la investigación, y a los enfermos o potenciales enfermos de una enfermedad genética. No hemos avanzado mucho y seguimos encontrándonos ante:

- 1) ¿Debemos prohibir totalmente la experimentación no terapéutica en embriones? Lo que se enfrenta, según la opción que elijamos, al valor que concedemos a la investigación médica como medio de erradicar enfermedades, al valor que concedamos a mejorar o incluso erradicar enfermedades humanas de gran sufrimiento, o al valor que para nosotros tiene el embrión como forma de vida humana;
- 2) ¿debemos prohibir la creación de embriones para usos de investigación? Y si no la prohibimos, cómo consideramos entonces al embrión que es en sí totipotente humano, es decir, tiende en su desarrollo a convertirse en hombre o mujer;
- 3) ¿debemos condicionar la investigación a estados de desarrollo embrionario? No implica esto ya permitir la investigación al tiempo que la entorpece sin criterios objetivos claros

Estamos pues con las mismas preguntas sin resolver, preguntas que necesitan de más debate si se quiere llegar a acuerdos que nos permitan si no contestarlas, si al menos tenerlas en cuenta a la hora de desarrollar principios que sean compatibles entre los distintos derechos implicados en el estatus del embrión.

Hemos llegado al final del camino sin resolver el estatus del embrión, un tema que sigue abierto para la teoría ético-normativa, y que como hemos visto presenta problemáticas que hacen difícil que se alcance un acuerdo.

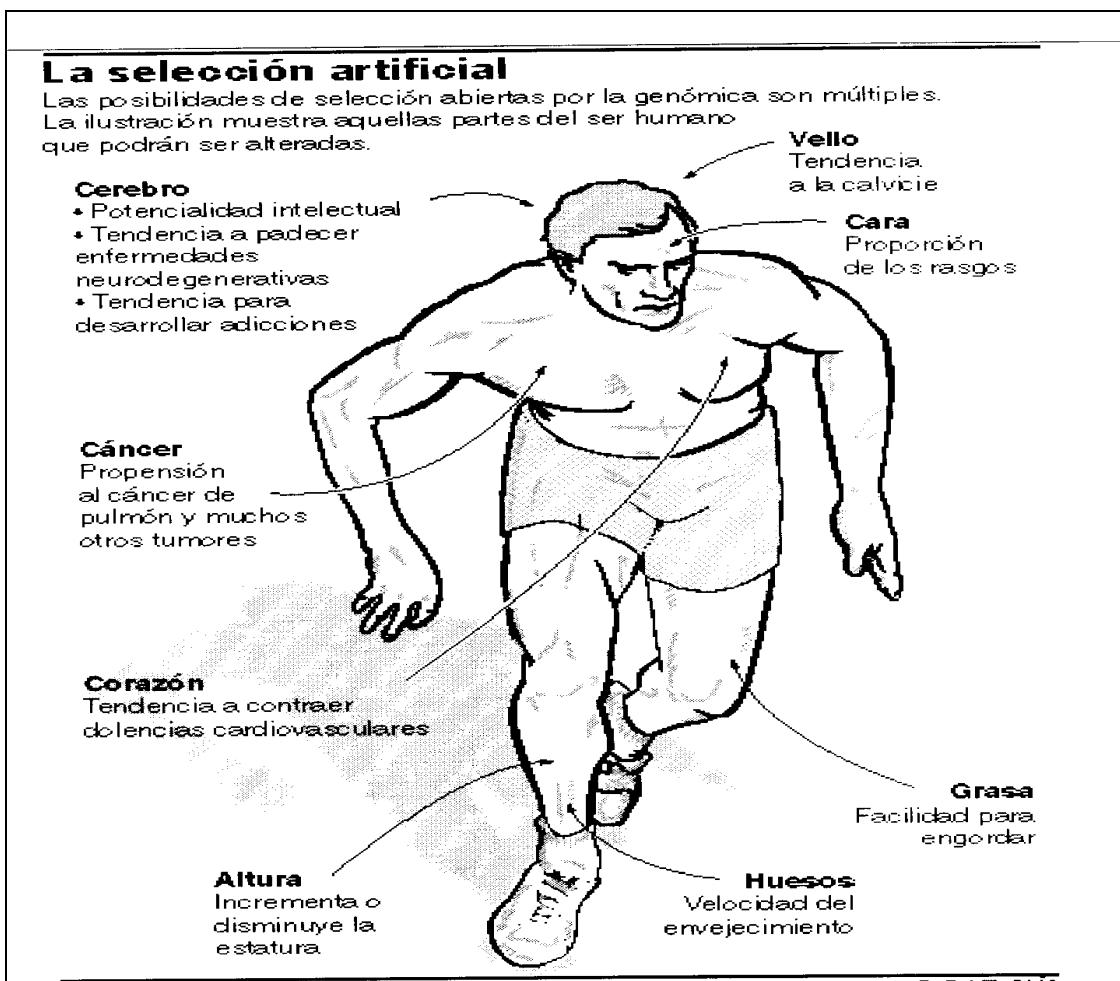
³⁶⁴ Una buena definición del relativismo moral y sus concepciones la encontramos en Norbert Bilbeny, op. cit., pp. 295-300.

3.4. 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.

FIGURA 5.2. 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 perdida de libertad del sujeto histórico fundamentada en la autonomía³⁶⁵.

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

³⁶⁵ Ver al respecto el sugerente artículo de Fernando Sabater: “Vuelve la predestinación”, El País, 16 de febrero de 1997, p. 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 Miguel ángel Ciuro en: “Aspectos jurídicos de la procreación asistida”, Bioética y Bioderecho, N° 1, Rosario-Argentina, 1996, pp. 11-16.

“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 pregunta que hay detrás de esta reflexión es de sí verdaderamente podemos estar seguros de que las cualidades individuales están sujetas al predeterminismo genético, o al menos si no del todo, sí 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 embriones³⁶⁶. Ello nos permitirá 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”³⁶⁷. Como la preocupación es mucha y la incertidumbre puede transformarse en probabilidad de riesgo gracias a los métodos ya diseñados (en ese futuro

³⁶⁶ No vamos a utilizar aquí la clásica 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.

³⁶⁷ Es decir, si estará sano cuando nazca. 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 igual o superior al umbral en que se sitúa la deficiencia.

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 una terapia génica que 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 así mismo la terapia correctora de estos defectos.³⁶⁸ En tercer lugar, la posibilidad de una eugenesia de tipo positivo donde quien disponga de recursos pueda 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.³⁶⁹

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

³⁶⁸ En nuestro ejemplo el límite no es técnico, sino económico.

³⁶⁹ El argumento de que la ciencia es un producto social y que por tanto en última instancia es a la sociedad a quien hay que pedir responsabilidades se haya inserto en el estado de <<desresponsabilización>> tan característico de las sociedades actuales. Véase al respecto, Evandro Agazzi: *El bien, el mal y la ciencia: las dimensiones éticas de la empresa científico-tecnológica*, Ed. Tecnos, Madrid, 1996. Sobre todo en pp. 233 y ss.

algunas consecuencias que más adelante examinaremos³⁷⁰. 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 perdida de la futura “autonomía”³⁷¹ del individuo que vaya a nacer. La idea que hay detrás es que el azar de la mezcla genética de los padres biológicos fecundantes conlleva al tiempo un correlato azaroso tanto del físico como, y más importante, de potenciales aptitudes del futuro individuo. Se supone que el someter a mejora genética a un embrión implica necesariamente determinar sus futuras “aspiraciones de autorrealización”³⁷² como persona. Es decir, que el individuo mejorado genéticamente en su estado embrionario no tiene aspiraciones de autorrealización; ya que éstas 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”³⁷³ condicionaría a éste sobre la base de la mejora genética efectuada. La consecuencia de esto es la perdida de la autonomía individual, que es uno de los criterios fundamentales de la libertad humana. A quien

³⁷⁰ 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.

³⁷¹ 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 si 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 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).

³⁷² 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.

³⁷³ En: “*The Philosophy of Loyalty*, lec. IV, sec. IV. Royce utiliza la noción de un proyecto para caracterizar los propósitos coherentes y sistemáticos del individuo; lo que le hace una persona moral, consciente y unificada.” (Rawls, 1995: 451).

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 Huxley³⁷⁴, y ello si el decisor fuera el Estado y no los progenitores.

¿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”³⁷⁵ pierde su autonomía, y por tanto su libertad, convirtiéndose de esta forma en esclavo de su mejora diseñada?

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 será³⁷⁶. Dicho de otra forma, lo que parece defenderse desde

³⁷⁴ La conocida obra de este autor: *Brave new World* plantea 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. Véase al respecto, Aldous Huxley: *Un mundo feliz*, Editores mexicanos unidos, México, 1992. La edición original es de 1932. Lo que nos interesa resaltar en nuestra tesis son las consecuencias sociales derivadas de microdecisiones de progenitores respecto al diseño de su progenie.

³⁷⁵ Con este término 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 sólo los ha sufrido terapéuticos, en su genoma original.

³⁷⁶ Véase al respecto el siguiente comentario de Fernando Sabater: “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).

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.

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 de 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 éste 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 diseñadas³⁷⁷.

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

³⁷⁷ En el estado actual de la 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.

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 modas³⁷⁸ 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.

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, etc. 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 descendientes³⁷⁹.

³⁷⁸ Entendemos aquí “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). De aquí en adelante, y si no decimos nada al respecto, seguiremos manteniendo para este concepto el significado aquí expresado.

³⁷⁹ 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

Otra característica a tener en cuenta es que el mayor número de capacitados en algo disminuye el valor social concedido a esa capacidad³⁸⁰. Es decir, 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 desvaloración 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 embrión³⁸¹. En último

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.

³⁸⁰ La idea que hay detrás de esto es simple: el valor social de una capacidad viene determinado por su singularidad.

³⁸¹ 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 franeotirador 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 irremediablemente al vector (D,D) no deseado por nadie” (Aguilar, 1990: 16).

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.³⁸² Y ello a pesar de que como dice 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?³⁸³

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 difieren 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.

³⁸² 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 entonces 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.

³⁸³ 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 operante: cooperando si coopera, defraudando si defrauda” (Aguilar, 1990: 20-21).

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.

3.5. 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.³⁸⁴ No es una pregunta del todo ingenua desde el punto de vista sociológico, puesto que la mercantilización ha ido ocupando cada vez más espacios de lo humano.³⁸⁵ 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.

³⁸⁴ 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.

³⁸⁵ 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.

3.5.1. 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 señalados³⁸⁶.

Puesto en una situación semejante el individuo que se conduzca racionalmente³⁸⁷ evaluará las condiciones de oferta que le ofrecen ambos sistemas, y elegirá aquel que más le satisfaga según su “conjunto de oportunidad”³⁸⁸. La pregunta que se nos plantea aquí es de si 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 en 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 éste dentro de nuestro conjunto de

³⁸⁶ 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.

³⁸⁷ La conducta racional se puede expresar del siguiente modo: “Un individuo se conduce racionalmente en un sentido estricto si (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).

³⁸⁸ Este concepto denomina a aquellas acciones que son coherentes con todas las restricciones físicas, económicas, legales y psicológicas con las que se enfrenta el individuo. Ver al respecto Elster: *Tuercas y tornillos. Una introducción a los conceptos básicos de las ciencias sociales*, Ed. Gedisa, Barcelona, 1996, pp. 23-30.

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)³⁸⁹ la posibilidad de acceder a un cambio físico. Si esto es así, 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 esperaban. Es decir, en el plano colectivo el crecimiento de compradores del canon de belleza de moda preferida 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.

³⁸⁹ 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”.

No sabemos en que nivel los individuos de una sociedad dada cambiarían el contenido genético que determina su físico.³⁹⁰ Lo que sí parece claro es que, en el caso de que exista libertad absoluta para poderlo hacer, el 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.

3.5.2. Cambios genéticos en un adulto relacionados con sus capacidades³⁹¹

Reflexionaremos a continuación sobre los cambios genéticos que pueden llegar a incidir sobre las capacidades individuales.³⁹² Para ello, pongamos por ejemplo al mismo individuo anterior. Éste una vez cambiado su aspecto físico quiere poseer unas capacidades, capacidades

³⁹⁰ Por poner un ejemplo próximo, no todo el mundo que tiene dentro de su conjunto de oportunidad el poder hacerse cirugía plástica toma la decisión de hacérsela.

³⁹¹ 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 en base a los conocimientos actuales del tema. Hemos optado por esta improbabilidad, antes que por algo más probable, como sería el cambio de aptitudes, o por mejor decir su adquisición. Es decir, por la dotación al individuo de la aptitud para el desarrollo de capacidades que de otro modo no tendría. Nuestro proceder se debe a que lo que nos interesa remarcar son las consecuencias últimas de un escenario, que aunque improbable, no debe descartarse como posibilidad de futuro, la posibilidad más remota y con mayores consecuencias para los individuos y la sociedad en la que viven. 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 esa 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 éstas 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 que observamos: desvalorización de la capacidad, y por tanto también de la aptitud que la posibilita en gran medida. No estamos seguros, sin embargo, que en el caso de las aptitudes se produzca una perdida del espíritu crítico, como resaltamos para el caso de las capacidades. Además, debemos tener en cuenta, como resalta Jon Elster 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 sólo 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.

³⁹² 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 han sido controlados.

que de ser adquiridas por el método tradicional de aprendizaje tardaría años en obtener. Pongamos que nuestro individuo, Charly, siempre deseó³⁹³: ser más inteligente, tener capacidad para la música, la pintura, las artes en general. Es por ello que decide comprarse el “paquete genético”³⁹⁴ 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?³⁹⁵.

En primer lugar, y considerando las capacidades compradas en términos de consumo y no de autorrealización³⁹⁶, está la consideración de que en términos generales algo que se consume disminuye de valor, en mayor o menor medida, hasta que éste se estanca con el

³⁹³ 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, emociones 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).

³⁹⁴ La idea del “paquete genético” se utiliza aquí de la misma forma que si se tratara de un paquete de software informático.

³⁹⁵ 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).

³⁹⁶ 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.

tiempo, para el consumidor, y ello porque disminuye el deseo que originó su adquisición³⁹⁷, y el placer que se siente con su consumo.

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 sólo 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 que se establece por el precio de adquisición 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 Boby. Charly no entiende nada de las conversaciones de su mujer con Boby 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.³⁹⁸

³⁹⁷ Ver al respecto, Jon Elster: *Tuercas y tornillos. Una introducción a los conceptos básicos de las ciencias sociales*, Ed. Gedisa, Barcelona, 1996, pp. 70-75.

³⁹⁸ 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.

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 perdida de toda justicia social³⁹⁹, 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.

Un efecto colateral al anteriormente mencionado lo constituye el de la perdida 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 el ser artista, intelectual y experto. Pero con ser esto de indudable relevancia no nos preocupa tanto como la perdida de pensamiento innovador, de

Sin embargo, creemos que adelantarnos en posibles escenarios futuros e indagar sus consecuencias nos permite, aun a costa de aventurarnos en las arenas movedizas que separan lo posible de lo futurable, prever mejor hacia donde podemos ir e intentar alcanzar o evitar esas metas. En todo caso, la utilización de métodos de las ciencias sociales, como lo hacemos nosotros, para analizar escenarios hipotéticos, futuros o no, es algo no ajeno al trabajo sociológico.

³⁹⁹ 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).

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 no escapa a ello, depende en gran medida de la relación del individuo con la sociedad que lo rodea, y 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, producciones que acaban por conformar el conocimiento del que una sociedad se nutre. Como se ve, asumimos aquí una posición logoteórica (ciertamente conforme a una realidad espiritual, según la terminología de José Ferrater Mora⁴⁰⁰) 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 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.

3.6. 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 autonomía⁴⁰¹. Dentro de este caso nos encontramos dos características que los hacen peculiarmente interesantes para el tema del diagnóstico y de la terapia genética, y más

⁴⁰⁰ Véase José Ferrater Mora: *Diccionario de Filosofía*, Tomo IV, Ed. Ariel, Barcelona, 1998, p. 3033.

⁴⁰¹ Entendemos por derecho de autonomía, el que hace referencia a la libertad de las personas de tomar decisiones por sí mismas.

concretamente para la investigación que posibilita el desarrollo de la ingeniería genética. La primera es que existen enfermedades genéticas que suponen la perdida de autonomía del individuo, y que incapacitan a éste para tomar decisiones sobre su propia vida⁴⁰²; la segunda es que éstos casos son de gran importancia para detectar aquéllos que están detrás de estas enfermedades, y por tanto para obtener material genético de gran interés para la investigación tanto en diagnóstico como posteriormente en terapia. 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 quien 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 suponer⁴⁰³. 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

⁴⁰² Un ejemplo de esto lo constituye la enfermedad de Alzheimer: “La enfermedad de Alzheimer consiste en un deterioro fisiológico: las terminales nerviosas del cerebro degeneran en una placa entrelazada 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 constituyan 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 estos cambian rápidamente y con frecuencia muestran muy poca continuidad en su conducta, incluso en períodos de días o horas.” (Dworkin, 1994: 285-286).

⁴⁰³ Al respecto de la enfermedad de Alzheimer: “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.: “Estimated prevalence of Alzheimer’s Disease in the United States”, Milbank Quarterly, Nº 68, 1990, p. 267. Estos datos son equiparables a los estimados para la mayoría de los países occidentales. Así 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 era que el incremento espectacular que se prevé y que en 30 años podría afectar a 750.000 personas”. En The Guardian: United Kingdom: Dementia Condition Alzheimer’s Disease will hit 750.000 in 30 years”, 6 de julio de 1992. 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 35.000 y 52.000\$ año”. En Sekoe: “Amyloid Protein and Alzheimer’s Disease”, p. 68. Las tres citas se hallan en R. M. Dworkin: *El dominio de la vida: una discusión acerca del aborto, la eutanasia y la libertad individual*, Ed. Ariel, Barcelona, 1994, p. 287.

investigación o manipulación del genoma de éstos. 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 beneficencia⁴⁰⁴, 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?

No resulta extraño que el derecho de beneficencia colisione en algunas ocasiones con el derecho de autonomía, y ello porque aunque un “incapacitado mental”⁴⁰⁵ sea incapaz de tener proyectos o planes del tipo que requiere una vida en sentido crítico, si que lo es en el sentido de 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

⁴⁰⁴ 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 sólo se ejerce cuando alguien se responsabiliza como tutor del que no tiene, o ha perdido su derecho de autonomía.

⁴⁰⁵ 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.

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 perdida 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 tutelado⁴⁰⁶, que tuviera posibilidades de contraer la enfermedad genética de éste, 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 cuales 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 perdida 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 como 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 no dejando que se manipule su genoma. Esto podría afectar a familiares cercanos al enfermo, interesados en el desarrollo de la investigación en esta

⁴⁰⁶ No olvidemos que el genoma de un hijo/a corresponde en un 50% al de la madre biológica, y el otro 50% al del padre biológico.

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 éste puede decidir sobre él. Esto supone, en un caso extremo, donde no se dispongan de Instituciones y mecanismos que lo eviten, que el no tener o perder el derecho de autonomía puede traer consigo la perdida 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 evidencia⁴⁰⁷ 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

⁴⁰⁷ El criterio de evidencia nos remite a la experiencia vivida.

integridad⁴⁰⁸, nos lleva a interrogarnos sobre la voluntad y los intereses del no autónomo que un tutor debe tener en cuenta.

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”⁴⁰⁹; y que éstos se generalizaran como forma previsora del individuo ante la probabilidad establecida para él de contraer una enfermedad genética que lo llevaría a ser un incapacitado mental.

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 éstos 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,⁴¹⁰ las probabilidades de enfermedad genética se establecen de forma individual y con un grado de aproximación a la certeza casi absoluto.

⁴⁰⁸ 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 aun a costa de que en casos como el de perdida 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.

⁴⁰⁹ 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. Sobre estos “testamentos de vida” y su utilización se puede ver, y esta es la fuente que hemos utilizado para hablar de ellos, a Ronald Dworkin: *El dominio de la vida: una discusión acerca del debate, la eutanasia y la libertad individual*, Ed. Ariel, Barcelona, 1994, pp. 298 y ss.

⁴¹⁰ La frase: “No voy a tener tan mala suerte de que me toque a mí” es significativa de esta percepción.

Otro aspecto que complica el tema es como 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 mismo tiempo y nunca como un medio”⁴¹¹. Esto nos remite a la controversia de si 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 esta 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 a los 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 que casos podemos aceptar experimentar con el genoma de los incapacitados mentales, y bajo que condiciones deben realizarse esos experimentos. Es necesario también la producción de teorías más refinadas

⁴¹¹ En *Grundlegung, Zur Metaphisik der Sitten*, Kants Werke, Akademie Textausgabe, De Gruyter, Berlín, 1968, p. 429. Citado por Bilbeny, op. cit., p. 72.

dentro de la bioética, teorías que nos permitan captar mejor las extremas complejidades que dentro de la ética 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 paciente⁴¹². 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 éste en el momento que se toma esa decisión; cuando actúa en favor de los intereses subjetivos de su paciente evaluados *ex post* 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 *ex ante*), 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, éste cancela la terapia o le propone otra (esto sería actuar en favor de los intereses del paciente *ex post*). 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 *ex ante* como una actuación *ex post* nos parecen plenamente aceptables, puesto que derivan de un acuerdo. La actuación sobre la base de los *intereses*

⁴¹² Ver al respecto, R. M. Dworkin, op. cit., p. 344.

genuinos críticos del paciente creemos que no debe establecerse como *modus operandi* general, y que se debería evaluar caso por caso⁴¹³.

En muchas ocasiones 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 venimos diciendo, 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 como éste 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 sólo 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

⁴¹³ 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 Heova. 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 terminales. 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 tetraplejia.

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, por ejemplo, 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, el 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 incapacite. 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 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 éste. Esto 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 discapacitados mentales de nacimiento.

4. El debate económico

Uno de los aspectos más señalados en los últimos tiempos en torno a las nuevas biotecnologías es el enorme potencial que las mismas tienen desde el punto de vista económico⁴¹⁴. Los beneficios de las empresas biotecnológicas, y sobre todo el enorme potencial que de las mismas se espera, dependen por lo menos de dos aspectos que son fundamentales: la aceptación por parte del público de los productos biotecnológicos, y la posibilidad de proteger los resultados obtenidos por medio de la investigación de una manera eficaz. El primero de los aspectos señalados lo desarrollaremos más adelante, cuando hablamos de la percepción que tiene el público español de las nuevas biotecnologías, el segundo lo veremos a continuación.

4.1. 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.⁴¹⁵ La ciencia juega un papel decisivo a la hora de descubrir los procesos que rigen la vida, pero sus descubrimientos muchas veces, no lo

⁴¹⁴ Véanse al respecto, entre otras, las publicaciones de la Comisión de las Comunidades Europeas: SEC (91) 629 final: "Mejorar el entorno competitivo de las actividades industriales derivadas de la biotecnología en la Comunidad", 7 de mayo de 1991; y COM (94) 219 final: "La biotecnología y el libro blanco sobre el crecimiento, la competitividad y el empleo", 1 de junio de 1994; o el informe realizado ese mismo año por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCD) en el apartado que dedica a la biotecnología: "Science and Technology Policy. Review and outlook", pp. 259-280; o el propio Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo, e Innovación Tecnológica, publicado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, en 2000, cuando dice: "El volumen de negocio que se estima mueve la biotecnología en el mundo es muy difícil de precisar debido a que no es sencillo delimitar las fronteras de ésta. Sin embargo, los cálculos que se manejan en una reciente publicación de la UNESCO suponen que las ventas mundiales de productos derivados de la biotecnología alcanzarán entre 16 y 33 billones de pesetas el año 2006. Se estima que el impacto de la bioindustria expresado como porcentaje del PIB supone un 25% en la UE y un 24% en USA. En 1996 en la Unión Europea se cifraban en 700 las empresas de biotecnología empleando a unos 27.000 trabajadores y con una inversión en I+D de 1.500 millones de ECUs." (CICYT, 2000: 33). Todas estas cifras dan buena cuenta de la importancia económica del sector biotecnológico.

⁴¹⁵ 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 científicación de la técnica y, por tanto, su ciencia es esencialmente tecnológica. Respecto a la tecnificación de la ciencia y la científicación de la técnica véase H. Stork: *Einführung in die Philosophie der Technik*, Ed. Wiessenhaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1977. Respecto a la esencia tecnológica de la ciencia véase a W. Barrett: "The illusion of technique", Ed. Anchor, Nueva York, 1978.

olvídemos, 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.

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, simposiums, etc.; 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 acababan 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 disciplina⁴¹⁶.

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

⁴¹⁶ La imagen nos remite al concepto de “paradigma” kuhniano de la estructura de las revoluciones científicas; 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). Véase T. S. Kuhn: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1971. La edición original es de 1962.

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 esta 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 han 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 cuanto 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 Pùblicas 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 conocimiento⁴¹⁷. 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 Pùblicos 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 vienen a incidir 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 implicaciones⁴¹⁸, el otro es que formas debe adoptar esta apropiación.

4.2. La protección jurídica de las nuevas biotecnologías

⁴¹⁷ Debemos decir, sin embargo, como de hecho ya apuntamos en otro lugar, concretamente en los capítulos tercero y cuarto de esta tesis, que esta financiación de la ciencia básica a través de los Proyectos Pùblicos de Investigación es cada vez menor. Financiándose cada vez más la ciencia aplicada a necesidades sociales concretas, y sobre todo aquella de la que se espera un uso industrial.

⁴¹⁸ 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 hombre ha aumentado sus conocimientos sobre la vida de manera extraordinaria en las últimas décadas. Desde el descubrimiento en 1953 de la estructura del Ácido Desoxirribonucleico (ADN) por parte de Francis Crick y James Watson la genética ha revolucionado de forma espectacular las ciencias biológicas, convirtiéndose en uno de sus pilares más sólidos y de futuro. Este avance espectacular, y en un período de tiempo tan pequeño, ha permitido nuevos desarrollos biotecnológicos impensables no hace mucho. De esta forma: se han obtenido animales transgénicos como el ratón oncogénico de Harvard, que sirve para realizar de una manera más precisa y eficaz las tan valoradas socialmente investigaciones sobre el cáncer; vacas a las que modificándoles genéticamente una hormona (la BST) producen más leche; insulina humana; la hormona del crecimiento humano; tomates transgénicos más resistentes a la maduración; peces más grandes; pollos sin plumas; cerdos con más carne magra y menos grasa; plantas resistentes a herbicidas o insecticidas, o que son ellas mismas insecticidas, etc. Pero con ser importantes los resultados obtenidos son mucho más espectaculares las expectativas que se presentan en los campos de diagnóstico y curación de enfermedades hereditarias en humanos, en nuevos y mejores productos alimenticios, etc. El siguiente cuadro nos presenta algunas de las aplicaciones de las nuevas biotecnologías.

**CUADRO 5.1.
APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA**

Agricultura y ganadería

- Obtención de variedades de plantas tolerantes a condiciones ambientales negativas, más productivas y resistentes a enfermedades.
 - Fijación de nitrógeno o captación de elementos nutritivos.
 - Pesticidas microbianos.
 - Producción de inóculos.
 - Diagnóstico, prevención y control de enfermedades animales.
 - Nutrición y crecimiento animal.
 - Mejora genética.

Producción de alimentos

- Aditivos para la industria alimenticia.
- Mejora de actividades biotecnológicas tradicionales.
- Obtención de productos microbianos (proteínas, por ejemplo) en volúmenes altos.
- Producción y uso a gran escala de enzimas.

Química fina

- Enzimas.
- Aminoácidos.
- Vitaminas.
- Polímeros.
- Lípidos complejos.
- Sustancias aromáticas.

Salud y farmaquímica

- Drogas y otros productos farmacéuticos.
- Antibióticos.
- Vacunas.
- Diagnóstico y tratamiento.

Minería

- Procesos de concentración de minerales.
- Recuperación de hidrocarburos.

Producción de materias orgánicas a granel

- Usos diversos de la biomasa.

Medio ambiente

- Tratamiento de aguas.
- Tratamiento de desechos tóxicos.
- Control de metales pesados.

FUENTE: Solleiro (1990: 109)

Las nuevas biotecnologías han entrado pues en diferentes mercados: el agroalimentario, el químico el de la salud humana y animal, el de la minería, el del medio ambiente. Esta introducción de la biotecnología en los intereses del Mercado ha significado un aporte de fondos extraordinarios para su desarrollo, pero también ha supuesto un duro golpe para la divulgación de los resultados científicos tan indispensables para su avance. En efecto, como ya dijimos, las empresas necesitan apropiarse de los conocimientos obtenidos por la ciencia para rentabilizar sus inversiones en Investigación y Desarrollo. Es por ello que sus aportaciones de dinero a la ciencia quedan condicionadas en gran medida por la posibilidad de apropiarse de los conocimientos producidos por ella. Para ello es imprescindible que los mismos sean confidenciales, por lo menos hasta que sean reconocidos como legalmente propios, y están sujetos a los regímenes legales que permiten su utilización temporal en forma de monopolio.

La forma tradicional de apropiación de las formas intangibles de la propiedad industrial es la patente. A través de la patente el obtentor obtiene un derecho monopolístico temporal de

uso y de comercialización de lo patentado; y lo que es más importante, excepto para el caso de las licencias obligatorias, o en aquellos que se declare una emergencia nacional, decide quien tiene derecho (bajo licencia, es decir pagando por ello) a utilizar las invenciones protegidas, y bajo qué condiciones temporales y de uso.

La teoría que hay detrás de la justificación de la necesidad de otorgar un derecho monopolístico al poseedor de la patente es clara. En este sentido, nos dice Philippe Ducor: “*The justification commonly offered for patent right is that, owing to the intangibility of the information underlying innovations, externalities are susceptible to arise, Introducing a product on the market may unavoidably mean that some of the information underlying the product will be disclosed to the public. In such cases, any third party could use this information freely, and exploit it to his own benefit. This benefit represents a positive externality. As a result, unable to reap the profit arising from his innovation, the initial producer of the information would lose any incentive in producing more innovation. The patent system aims to correct problem.*” (Ducor, 1996: 36).

Es pues la necesidad de garantizar la competencia leal entre competidores la que paradójicamente justifica el monopolio temporal que sobre lo patentado garantiza la patente. Ésta se convierte, de esta forma, en garante del buen funcionamiento del Mercado en sentido doble: en primer lugar, priva a los competidores de aprovecharse de los esfuerzos humanos y de dinero efectuados por el obtentor para conseguir la invención, utilizando ésta en su beneficio sin sufrir los costes que ha supuesto. En segundo lugar, incentiva la inversión en investigaciones, pues la rentabilidad que se puede obtener con las mismas, a través del derecho de explotación monopolístico temporal que confiere la patente, puede ser superior a los costes de investigación. De esta forma el “estado del arte”⁴¹⁹ progresará, al tiempo que se evita que los que no aportan

⁴¹⁹ “Estado del arte” es un término que se utiliza habitualmente en la literatura sobre el régimen de patentes. Con él viene a indicarse el estado en que se encuentra la técnica en un momento dado. Los

nada a él se aprovechen de lo aportado por los que se esfuerzan y arriesgan para aportar algo a este progreso.

Dos argumentos fuertes se vienen a oponer a estas consideraciones. El primero de ellos pone el énfasis en que las patentes al conceder un derecho monopolístico al que la detenta conducen a una infrutilización del invento; el segundo remite al hecho de que al ser uno el ganador de la carrera por la obtención de la patente los costes de investigación de los demás competidores caen en saco roto, esto implica un despilfarro de recursos que se podían haber destinado a otros fines.⁴²⁰

En cuanto a la protección jurídica de las nuevas biotecnologías en la Unión Europea señalar, en primer lugar, junto con Jacqueline Smith, que las empresas sitas en la Unión Europea que tienen intereses en las nuevas biotecnologías: “*ont déploré l'absence de droits de propriété intellectuelle adéquats en Europe, à la différence des Etats-Unis et du Japon. Selon eux, cette situation est un des freins les plus considérables au développement des biotechnologies en Europe et un obstacle à la compétitivité économique de l'UE à long terme.*” (Smith, 1996 : 157). Las empresas europeas vinculadas con las nuevas biotecnologías se mostraban como vemos a favor de una legislación europea que posibilitara la protección jurídica de las invenciones biotecnológicas a través de patentes.

También a favor de la reglamentación sobre protección jurídica de las invenciones biotecnológicas se encontraban el Consejo de la Unión Europea y la Comisión Europea; Organismos que ya habían presentado varias propuestas de Directiva en este tema, y que

avances de éste se producen a través de las invenciones, y éstas para poder ser patentadas deben ir más allá del mismo.

⁴²⁰ Una buena descripción y análisis de estos dos argumentos, con una alternativa a la patente biotecnológica basada en mecanismos fiscales, la podemos encontrar en Svatos: “*Biotechnology and the utilitarian argument for patents*”, *Scientific Innovation, Philosophy, and Public Policy*, Vol. 13, Nº 2, Cambridge University Press, Cambridge, verano de 1996, pp. 113-144.

defendían la necesidad y urgencia de una reglamentación propia de la Unión Europea en esta materia.

Al respecto, la Comisión ya había presentado una propuesta de Directiva sobre protección jurídica de las invenciones biotecnológicas en octubre de 1988⁴²¹, con el objetivo de asegurar un nivel de protección equivalente, y bajo los mismos criterios de protección de las invenciones biotecnológicas, en todos los Estados miembros de la Unión Europea. Esta proposición de Directiva fue remitida por la Comisión al Comité Económico y Social el 3 de noviembre de 1988, quien consideró que la propuesta no tenía presente la totalidad de los problemas planteados, y estimó que el texto debería ser revisado de forma que tomara en consideración las observaciones y sugerencias incluidas en su dictamen. Finalmente el texto que presentó la Comisión al Parlamento Europeo no fue aprobado por éste.

En febrero de 1994 tras importantes cambios en el texto original, referentes sobre todo a la posibilidad de patentar partes integrantes del cuerpo humano, se adoptó una posición común por parte del Consejo, y ello a fin de desbloquear en el Parlamento el proceso de decisión. El 1 de marzo de 1995 el Parlamento Europeo rechazó en sesión plenaria la propuesta presentada por el Consejo en delegación del Comité de Conciliación. La Comisión Europea presentó una nueva propuesta al Parlamento Europeo el 13 de diciembre de 1995, y para asegurarse el apoyo del Parlamento consultó al Grupo de Consejeros sobre los Aspectos Éticos de la Biotecnología (GCEB), invitándolo a escribir un informe sobre los aspectos éticos derivados de la nueva Directiva⁴²².

⁴²¹ Véase Propuesta de Directiva del Consejo relativa a la protección jurídica de las nuevas biotecnologías, Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, (DOCE C 10, 13 de enero de 1989), pp. 15-24. La misma la podemos encontrar en COM (88) 396 final-SYN 159, 20 de octubre de 1988; y Diario Oficial de las Comunidades Europeas C10, del 13 de enero de 1989.

⁴²² No deja de ser sorprendente esta invitación, si tenemos en cuenta que el GCEB ya había realizado un informe a iniciativa propia sobre la primera Directiva sobre la protección jurídica de las invenciones biotecnológicas, la misma que acabó siendo rechazada por el Parlamento Europeo. En este informe el GCEB señalaba que no había objeciones éticas a la patentabilidad de las invenciones biotecnológicas, pero que había que clarificar ciertas nociónes en el campo de la aplicación, y ciertas disposiciones de la Directiva. Ver al respecto el informe número tres del Grupo de Consejeros sobre los Aspectos Éticos de la

El Parlamento Europeo se mostró de nuevo mayoritariamente en contra de la posibilidad de patentar procesos y productos provenientes de las nuevas biotecnologías⁴²³; basándose, entre otros, en: criterios éticos, sobre todo los relacionados con la posibilidad que se abría de patentar partes del ser humano, lo que consideraban contrario a la dignidad humana; la defensa del privilegio del agricultor y ganadero sobre sus semillas o crías de ganado; la protección del consumidor, consideraban que se vería incrementado el precio de productos de primera necesidad alimenticios y farmacéuticos; la apuesta por una investigación pública, creían que los recursos destinadas a ésta descenderían, ya que serían destinados a una investigación aplicada próxima a la obtención de productos comercializables; el apoyo a la libre circulación de la información científica, pensaban que ésta se vería afectada por la comercialización de la ciencia en este campo, puesto que la posibilidad de obtención de patentes desarrollaría e incluso aceleraría este proceso de comercialización de la ciencia; el rechazo a la injusticia que suponía la explotación sin contrapartida de los recursos biológicos de un sur subdesarrollado por parte de un norte desarrollado; y la salvaguarda de la biodiversidad en el ámbito de todo el planeta.⁴²⁴

Pero veamos a continuación algunas de las reflexiones realizadas por los parlamentarios europeos para justificar su rechazo a la propuesta de Directiva sobre protección jurídica de las invenciones biotecnológicas, la misma que presentó el Consejo, en delegación del Comité de Conciliación, el 1 de marzo de 1995:

Biotecnología: “La protección jurídica de las invenciones biotecnológicas”. Ed. Oficina de publicaciones oficiales de la Comunidad Europea, Luxemburgo, 1 de octubre de 1993.

⁴²³ La propuesta de conciliación presentada por el Consejo al Parlamento Europeo presentada el 1 de marzo de 1995 obtuvo 240 votos en contra por tan sólo 188 a favor, 23 eurodiputados se abstuvieron.

⁴²⁴ No olvidemos a este respecto que el Consejo en nombre de la Comunidad Económica Europea aprobó en decisión tomada el 25 de octubre de 1993 el Convenio sobre Biodiversidad Biológica, que auspiciado por Naciones Unidas se firmó en Río de Janeiro en junio de 1992. Ver al respecto la “Decisión del Consejo relativa a la celebración del Convenio sobre la Diversidad Biológica”, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L 309, Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 25 de octubre de 1993, pp. 1-20.

“Graefe zu Baringdorf (V).-(DE) Señor presidente, yo he sido miembro del Comité de Conciliación y me quiero limitar a tres puntos. En primer lugar, el derecho de patentes procede del ámbito técnico y asegura invenciones. Aquí nos topamos con la vida, y aquí se trata esencialmente de descubrimientos. Aunque a través de la tecnología genética se produzcan invenciones todo lo que se haya logrado a partir de la ecología o de la labor humana a través de la ecología a lo largo de los siglos quedará dentro del ámbito de la vida y, por consiguiente, el derecho de patentes es inservible en este ámbito.

En segundo lugar, la terapia génica germinal. En el texto legal se dice, ciertamente, que la terapia génica germinal está prohibida aún, que no está permitida. Pero, -y esto se deducía también claramente de las manifestaciones del ponente- si continúa el desarrollo y si esta terapia génica germinal se autoriza algún día será patentable también. Este es, realmente, el problema del que hablamos hoy.

En tercer lugar: aunque en el Comité de Conciliación no hemos podido imponernos por mayoría en estos puntos, hubo una mayoría a favor del último punto que comenté ahora. Opinábamos que es preciso aplicar también al ámbito de los animales el llamado privilegio de los agricultores, es decir, que se puede seguir criando con material propio, con animales de la propia explotación. Ahora bien, en este punto la Comisión no se ha comprometido, sino que nos ha presentado un texto en el que figura lo siguiente: cuando exista un derecho comunitario de protección de animales, si lo permite la situación, entonces actuaremos. (...)

Tannert (PSE).-(DE) Señor presidente, señoras y señores, el derecho de patentes es un derecho de prohibición. Por esta razón, en lo que toca a la materia viva y a sus elementos básicos específicos debe haber un sistema de protección de las invenciones humanas en este ámbito, con todas las consecuencias comerciales y de competencia y también un sistema de protección de la dignidad de la vida y, en especial, de la vida humana. Sin embargo el presente compromiso no logra esto.

El derecho de patentes debe ser, además, un sistema de protección de la biodiversidad, como resultado de la evolución y debe prohibir su explotación económica privatizada. Y debe prohibir también que el saber colectivo sobre las sustancias naturales y sus efectos por ejemplo en el arte de curar, se privatice. De esta forma debe impedir que este saber colectivo se transfiera desde el sur biológicamente rico, pero financieramente pobre, al norte financieramente rico, pero biológicamente pobre, en detrimento del sur. Efectivamente, esto sería una forma, esta vez biológica, de neocolonialismo, y esta Directiva lo pretende.”⁴²⁵.

Pero sin duda, dentro del Parlamento Europeo y en la sociedad en general, los que se han mostrado más activos a la hora de rechazar las propuestas de Directivas sobre protección jurídica de las invenciones biotecnológicas han sido los grupos ecologistas. Para ellos los proyectos de Directiva presentados por la Comisión presentaban un peligro claro, y es por ello que ya ante el primero iniciaron una campaña en su contra. El grupo de los verdes del Parlamento Europeo destacaba al respecto:

“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:

- a) “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;

⁴²⁵ La cita proviene del Diario Oficial de las Comunidades Europeas, Debates del Parlamento Europeo, Acta literal del periodo de sesiones del Parlamento Europeo, 28 de febrero al 2 de marzo de 1995: “Protección jurídica de las invenciones biotecnológicas”, Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, marzo de 1995, pp. 38-50.

- b) 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;
- c) 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;
- d) 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>>;
- e) la libre competencia en los sectores agroalimentarios, farmacéutico y químico se vería amenazada por los monopolios temporales que confiere la patente;
- f) 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”.⁴²⁶

⁴²⁶ La cita proviene de Europa Información Internacional: “CE Biotecnología: Los verdes del Parlamento Europeo inician una campaña contra el proyecto de Directiva de CEE acerca de la posibilidad de patentar los inventos biotecnológicos. Peligros del proyecto”, Nº 2810, p. 13.

En julio de 1998, y tras diez años de intenso debate, los transcurridos desde que la Comisión presentará su primera propuesta de Directiva sobre protección jurídica de las invenciones biotecnológicas, y tras varios intentos fallidos para que se aprobara la misma, el Parlamento Europeo la aprobó⁴²⁷. Esta Directiva nos dice que: “art. 4.2. Serán patentables las invenciones que tengan por objeto vegetales o animales si la viabilidad técnica de la invención no se limita a una variedad vegetal o a una raza determinada (...) art. 4.3. La patentabilidad de las invenciones cuyo objeto sea un procedimiento microbiológico o cualquier otro procedimiento técnico o un producto obtenido a través de dichos procedimientos (...) art. 5.2. Un elemento aislado del cuerpo humano u obtenido de otro modo mediante un procedimiento técnico, incluida la secuencia o la secuencia parcial de un gen, podrá considerarse como una invención patentable, aun en el caso de que la estructura de dicho elemento sea idéntica a la de un elemento natural [Por otro lado se excluye la posibilidad de patentar] art. 6. las invenciones cuya explotación comercial sea contraria al orden público o la moralidad (...) Los procedimientos de clonación de seres humanos; los procedimientos de modificación de la identidad genética germinal del ser humano; las utilizaciones de embriones humanos con fines humanos con fines industriales o comerciales” (Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 98/44/CE, 6 de julio de 1998: 18)

No vamos aquí a entrar en el intrincado mundo de como las nuevas biotecnologías hacen frente al cumplimiento de los requisitos fundamentales que se exigen para conceder una patente: objeto de la protección, que debe referirse a conocimientos intangibles y hacerse efectivo para usos, procesos y productos dentro de las esferas de la producción y de las ventas; carácter distintivo de la invención, que tiene su fundamento en que sólo las invenciones, los descubrimientos en ningún caso, pueden ser patentadas; carácter novedoso de la invención, que supone que la invención debe producir un avance en el “estado del arte”, y que debe hacer

⁴²⁷ Véase la “Directiva 98/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de julio de 1998, relativa a la protección jurídica de las invenciones biotecnológicas”, Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 213: Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 30 de julio de 1998, pp. 13-21.

referencia a algo distinto al estado natural y su evolución; aplicabilidad industrial, por el cual se debe demostrar, ya en la solicitud de la patente, que la invención realizada satisface una necesidad humana a través de su utilización por parte de la industria; actividad inventiva, que supone que una invención no debe ser consecuencia de una derivación lógica del “estado del arte” existente; divulgación, que hace referencia a que la concesión de una patente implica una divulgación pública del invento. Bástenos con decir que las nuevas biotecnologías han forzado estos requisitos hasta un punto en que es difícil reconocerlos.⁴²⁸ Este forzamiento llega al punto, como apunta Jeremy Rifkin de que: “la oficina británica otorgó a Wilmut y a su empresa una patente sobre todos los embriones humanos clonados hasta la fase de desarrollo del blastocito, que es la fase en la que surgen las pluripotentes células madre.” (Rifkin, 2001).

En realidad, la cuestión se escapa del todo de la mano del legislador, e incluso de las Administraciones públicas, aunque las Oficinas Nacionales de Patentes sean parte de éstas y decidan, en último término, sobre la concesión de una patente. Decimos esto porque la aprobación de una patente basada en la biotecnología se dirime en un juego jurídico finísimo, juego donde la capacidad de los gabinetes técnico-legales que asesoran a la empresa es decisiva. Tal es así que el obtener patentes de este tipo se convierte, al menos para nosotros, más en una cuestión de argumentos legales, o sea legalista, que técnica; aunque con ello se desvirtúan los principios que legitiman, y en los que se basa, el régimen de patentes.

No queremos acabar con el tema que aquí nos ocupa sin decir que la protección jurídica de las nuevas biotecnologías tiene, a parte del régimen de patentes⁴²⁹, y para algunos países de la Unión Europea, otros regímenes de protección. Es el caso por ejemplo, de los firmantes del

⁴²⁸ Para una aproximación a este tema permítasenos remitirnos a nuestra comunicación, presentada en el VII Congreso Español de Sociología, celebrado en Salamanca del 20 al 22 de septiembre de 2001, y que lleva por título: “Algunas consideraciones en torno al sistema legal de protección de la propiedad intelectual: el caso de las nuevas biotecnologías”.

⁴²⁹ Recordemos que, a parte de la Directiva de la Unión Europea sobre protección jurídica de las invenciones biotecnológicas, muchos países de la UE han suscrito el Convenio de la Patente Europea, firmado en Munich en 1973. Este convenio permite expresamente patentar procedimientos microbiológicos, y los productos obtenidos por tales procedimientos.

convenio para la Protección de las Nuevas Variedades Vegetales (UPOV), firmado en París en 1961, y en vigor desde 1968; pero también, y para todos los países de la UE, del Reglamento relativo a la Protección Comunitaria de Obtenciones Vegetales, que se aprobó en julio de 1994.

Pese a esta variedad de regímenes de protección, la empresa prefiere, de serle posible optar a él, aquel que le permita obtener un mayor control y beneficio sobre la invención realizada, y este régimen es el de patentes. De ahí que los otros se contemplen sólo como alternativa.

5. Debate sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo”

Uno de los debates que despiertan mayor interés en el ámbito de las nuevas biotecnologías, y que no deja de ser, en buena parte, una variante del debate general sobre las repercusiones socioeconómicas de la ciencia y la tecnología, es el que tiene lugar en torno al impacto que aquéllas tienen y tendrán en el “Tercer Mundo”.

Es indudable que las potencialidades que aportan las nuevas biotecnologías en sectores tan importantes como: la salud humana, animal y vegetal, la agricultura, la alimentación, la química, el medio ambiente, la energía, etc., significan una esperanza en la mejora de la calidad de vida de la población menos favorecida de los países en vías de desarrollo.

Si bien es cierto que las nuevas biotecnologías tienen ese potencial positivo de desarrollo para los países pobres de la Tierra, no lo es menos que éste dependerá sobre todo: de quién las desarrolle, de qué tecnologías de la vida se desarrolleen y se obtengan, y finalmente de los usos que de ellas se hagan. No olvidemos al respecto que estos países tienen sus propias necesidades vinculadas, en muchos casos, a áreas concretas de producción, y que por tanto el desarrollo de biotecnologías para producciones distintas, y aun competidoras de las propias, puede tener en estos países repercusiones muy negativas.

Frente a las esperanzas que para el “Tercer Mundo” presentan las nuevas biotecnologías se impone más que una euforia desmedida (como, por otra parte, ya se produjo en la llamada “Revolución Verde”), la necesidad de un debate en profundidad sobre el impacto socioeconómico que tendrá para estos países la implantación de estas nuevas tecnologías de la vida.

No es suficiente con esgrimir las ventajas que las nuevas biotecnologías van a suponer en el desarrollo de los países pobres, hay además que debatir sobre cuales son en realidad las que de veras favorecen a éste, y cuales lo perjudican. En este sentido, cabe preguntarse si los países del llamado “Tercer Mundo”: serán capaces de desarrollar nuevas biotecnologías que favorezcan sus intereses socioeconómicos, adaptar aquéllas procedentes de los países desarrollados para mejorar su situación de partida, controlar el desarrollo y uso de las que se apliquen en sus países, contrarrestar las posibles consecuencias negativas derivadas de su aplicación.

En lo que sigue intentaremos reflexionar sobre algunas respuestas que se han ofrecido a las cuestiones que aquí se plantean, respuestas que sin ser exhaustivas sí tienen, sin embargo, el mérito de indicar direcciones sobre los escenarios más probables a los que se enfrentarán los países en vías de desarrollo cuando las nuevas tecnologías de la vida dejen de ser potenciales, y se conviertan en una realidad plena y ampliamente extendida.

Nuestra atención se centrará preferentemente en el sector agrícola, puesto que es en él donde el impacto de las nuevas biotecnologías va a ser mayor. Ello es así debido, por un lado, a que las economías de gran parte de los países del “Tercer Mundo” dependen, en buena medida, de la producción agrícola (en muchos casos de uno o dos productos); y por otro a que las estructuras sociales de estos países están dominadas básicamente por un campesinado

tradicional que recibirá directamente las consecuencias, tanto positivas como negativas, derivadas de la aplicación de las nuevas biotecnologías en la agricultura mundial.

No queremos dejar de lado, sin embargo, y aunque sólo sea para mencionarlas con brevedad, las problemáticas que las nuevas biotecnologías plantearán a los Sistemas Nacionales de Salud de los países del “Tercer Mundo”⁴³⁰. Aunque las posibles aplicaciones de las tecnologías de la vida aplicadas a la salud humana pueden ser muy positivas y esperanzadoras para las poblaciones de los países en desarrollo; existen en estos países condicionantes que debemos tener en cuenta a fin de que estas esperanzas, que las nuevas biotecnologías suscitan, lleguen a convertirse en realidad.

5.1. El debate sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo” aplicadas a la salud humana

La primera cuestión que se plantea en este tema es la de si se desarrollarán realmente nuevas biotecnologías que atiendan a las enfermedades del “Tercer Mundo”, enfermedades que causan muchas muertes y sufrimiento a las personas de estos países. Una segunda cuestión, que surge de una respuesta afirmativa de la anterior, es la de si será posible, y en qué medida, para los gobiernos de estos países garantizar a sus poblaciones una cobertura sanitaria que incluya estas nuevas tecnologías de la vida. En este sentido, recientemente, concretamente en marzo de 2001, asistimos a la batalla legal por el uso de medicamentos contra el SIDA que sostuvo el gobierno de Sudáfrica con las multinacionales que los producen, y de los que tienen patentes. Frente al elevado coste del tratamiento para el SIDA ofertados por estas multinacionales (1.800.000 Ptas. por enfermo y año en África)⁴³¹, una empresa de la India, CIPLA, ofertaba tratamientos por 63.000 Ptas. por enfermo y año; precio más bajo incluso que el que ofreció la multinacional Merck, que era de 105.000 Ptas. por persona y año, y eso tras la rebaja para

⁴³⁰ No incluiremos aquí las cuestiones éticas que se plantean en torno a las nuevas biotecnologías aplicadas a la salud humana. Las mismas las desarrollamos en otro apartado de esta tesis.

⁴³¹ Datos ofrecidos por el director del departamento de África del Banco Mundial. Véase El País: “Merck baja el precio de los fármacos contra el SIDA destinados a África”, 8 de marzo de 2001.

África de ésta de dos de sus fármacos antisida. Este caso nos ilustra sobre algunos aspectos que nos interesa resaltar aquí. El primero, es el elevado coste de los fármacos sujetos a patente, coste que hace imposible, como lo era para el gobierno sudafricano, atender a la población de los países del “Tercer Mundo” con fármacos de nueva generación, entre ellos los producidos por las nuevas biotecnologías, que están sujetos a monopolios temporales, es decir que han obtenido una patente. El segundo, se refiere al hecho de la bajada espectacular de precios, no sólo cuando se ofertan genéricos como en el caso de CIPLA, sino incluso cuando por efecto de la opinión pública de la ciudadanía occidental, las multinacionales ajustan sus precios de venta a costes, y se limitan a obtener beneficios socialmente razonables y no, como suele ser habitual, tienden a ganancias empresariales especulativas, por ser monopolísticas, al estar sujetas a patente, y que legitiman en base a los argumentos: del elevado coste de la Investigación y Desarrollo, el largo y costoso proceso de aprobación del medicamento y los gastos de transporte y comercialización del producto. Por último, nos indica la tendencia de los fármacos, incluidos los procedentes de las nuevas biotecnologías, sujetos a patentes a tener precios monopolísticos, es decir muy por encima de los precios que tendrían en un mercado globalizado de libre competencia. En una frase ilustrativa: a los “Países del tercer” les toca pagar a precio de oro los fármacos que necesitan en sus graves problemas epidemiológicos y de salud pública, o ver como sus poblaciones quedan diezmadas por las mismas. Y, sin embargo, es la población de estos mismos países la que crecientemente está siendo utilizada como conejillo de indias, en los ensayos clínicos, por las transnacionales farmacéuticas⁴³².

El desarrollo de diagnósticos, terapias, vacunas y medicamentos procedentes de las nuevas biotecnologías para enfermedades que afectan al “Tercer Mundo”, y sobre todo a éste⁴³³,

⁴³² Véase al respecto, El País: “El comité ético europeo pide limitar los ensayos clínicos en países pobres. La Comisión de la UE denuncia que las farmacéuticas eluden la regulación de las pruebas”, El País, 10 de febrero de 2003, p. 27.

⁴³³ Nos referimos aquí a enfermedades de tipo infeccioso como la malaria, la esquistosomiasis o bilharziasis, la leishmaniosis y la enfermedad de Chagas. La malaria es la enfermedad infecciosa más extendida en el mundo y afecta, sobre todo, a los países en vías de desarrollo, con unos 300 millones de

dependerá básicamente de la posibilidad que tengan estos países de desarrollar estas tecnologías de la vida y dirigirlas a la solución de sus problemas de salud concretos, o de adaptar las creadas por los países desarrollados a sus propias necesidades.

No creemos que exista en este campo una tercera vía en la que los países desarrollados a través de sus Organismos Gubernamentales, o a través de sus empresas (de éstas principalmente las transnacionales que son las que invierten más en investigación y Desarrollo, y por tanto poseen una mayor probabilidad de éxito inventivo) se solidaricen con el “Tercer Mundo”, y dediquen fondos para solucionar los acuciantes problemas de salud de la población de estos países. Históricamente esto no se ha producido. A menos que se vislumbre la posibilidad de sacar beneficios de las invenciones en diagnósticos y terapias, en enfermedades que afectan sobre todo a los países en vías de desarrollo, los países más ricos y sus empresas no invertirán dinero para intentar realizarlas. Señalar aquí, junto con Fernando E. Vega y Javier Trujillo Arriaga, que: “En las sociedades capitalistas el propósito que define el patrón de desarrollo de las innovaciones tecnológicas no es el bien general de la población, sino las ganancias de quienes pueden solventar los costes de producción y el uso de aquéllas.” (Vega y Trujillo, 1989: 949).

Por otro lado, cabe esperar que Organismos Internacionales como la Organización Mundial de la Salud adopten y financien Programas de Investigación en vistas a erradicar las enfermedades que estamos comentando. Lamentablemente los recursos de estas Organizaciones no son suficientes para hacer frente a los costes de investigaciones completas y definitivas, y sobre todo de producción y distribución del medicamento final, que sirvan para producir

nuevos casos estimados cada año. La esquistosomiasis o bilharziasis es otra enfermedad de origen infeccioso y afecta a 250 millones de personas residentes, principalmente, en el África tropical. La leishmaniosis y la enfermedad de Chagas son dos enfermedades de origen parasitario frecuentes en Oriente Medio y en Latino y Centroamérica. A través de la ingeniería genética se cree que será posible encontrar una vacuna para estas enfermedades. De hecho, para el caso de la malaria desde principios de los noventa ya existe una vacuna, con la que se obtienen buenos resultados, que fue descubierta por el colombiano Manuel Patarroyo y su equipo.

fármacos que erradiquen, o por lo menos alivien en parte los sufrimientos que causan estas enfermedades propias de los países en vías de desarrollo⁴³⁴.

¿Es de esperar, pues, que las nuevas biotecnologías no aporten nada a la mejora de la salud de las poblaciones del “Tercer Mundo”? No exactamente. Como ya dijimos anteriormente, el aporte que estas tecnologías de la vida hagan a la mejora de la salud de las poblaciones de estos países dependerá básicamente, a nuestro entender, de las posibilidades propias de Investigación y Desarrollo, y del aprovechamiento de las transferencias biotecnológicas que les lleguen de los países desarrollados.

Los países en vías de desarrollo por sí mismos tienen pocos recursos para hacer frente a los costes de invención de las tecnologías y productos necesarios para curar las enfermedades que les afectan. Además, a la escasez de recursos propia de estos países hay que añadir la escasez de mano de obra cualificada para el trabajo científico y tecnológico necesario para realizar las invenciones aquí señaladas. La necesidad de mano de obra cualificada es un punto crítico para los países del “Tercer Mundo” en vistas a lograr el aprovechamiento y adaptación a las propias necesidades de las transferencias biotecnológicas de los países desarrollados. La falta de personal cualificado obliga a los países en vías de desarrollo a un esfuerzo de formación de especialistas, esfuerzo que en la mayoría de las ocasiones debe realizarse mediante convenios de formación con Universidades y Centros Públicos de investigación situados en los países desarrollados. Existen aquí algunos problemas que mencionaremos brevemente. Por un lado, las nuevas biotecnologías forman parte de lo que comúnmente se ha venido a denominar tecnologías emergentes, y además han sido aplicadas a sectores estratégicos y punta de los

⁴³⁴ Así, por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) destinó en Investigación y Desarrollo, en el período 1998-1999, para enfermedades transmisibles 66.594.000 dólares. El presupuesto total de esta Organización fue para el período citado de 1.647.157.000 \$. Compárense estas cantidades con los siguientes del mismo período. En 1999 Bayer invirtió 2.252 billones de Euros en I+D, Astra Zeneca 2.5 billones de dólares, Glaxo Wellcome 1.26 billones de libras esterlinas, Pfizer Inc. 2.776 billones de dólares, Pharmacia Upjohn 2.6 billones de dólares. La diferencia, como se ve, sin necesidad de comentarios, es enorme. No olvidemos, al respecto, que aunque una mayor inversión en I+D no garantiza por sí sola que se produzcan descubrimientos, sí, sin embargo, aumenta la posibilidad de obtenerlos; ya que posibilita el tener los mejores investigadores, los mejores equipos, y las instalaciones más adecuadas.

países desarrollados. Por otro lado, la distancia que separa el conocimiento científico de sus aplicaciones en el caso de las biotecnologías es lo suficientemente pequeña como para que el mismo conocimiento científico se haya convertido en elemento estratégico para las empresas privadas. Esto ha provocado que la tradicional confidencialidad de las empresas en torno a sus invenciones (que sólo permitía el conocimiento de éstas a través de la patente) se haya instalado, en parte, en los Centros Públicos de Investigación y en las Universidades. Lo que ha ocurrido, sobre todo, en Centros Públicos de Investigación y Universidades de elite con campos de investigación interesantes para la industria, y que basan su financiación, en buena parte, en contratos de investigación que tienen con empresas privadas.

Los países en vías de desarrollo se han encontrado tradicionalmente, y el caso que estamos analizando no es una excepción, con que los estudiantes cuya formación especializada se ha realizado en el extranjero logran mejores oportunidades de carrera profesional en los países que los reciben que en sus propios países. Esto ha originado que muchos de estos estudiantes hayan preferido quedarse en los países desarrollados que volver a su país y contribuir a aumentar su potencial científico y tecnológico.

Un tercer aspecto que cabe destacar es que en los países del “Tercer Mundo” existe una evidente falta de infraestructura en edificios y laboratorios adecuados, materiales, herramientas, máquinas, y de organización; así como una escasa financiación de los Centros de Investigación. Esto limita enormemente tanto la incorporación de los estudiantes posgraduados que estudiaron en el extranjero como, en caso de que ésta exista, el desarrollo del trabajo de este personal en los laboratorios autóctonos.

Además, el aprendizaje de los estudiantes postgraduados que estudian en los países desarrollados y que proceden del “Tercer Mundo” se desarrolla, la mayoría de las veces, en áreas de interés para los países desarrollados. Por tanto, su formación se realiza en

conocimientos que en muchos casos no sirven para resolver los problemas científicos y tecnológicos a los que se enfrentan sus propios países.

Por otro lado, y aun en el difícil e hipotético caso de que los países en vías de desarrollo dispongan de las instalaciones y el personal adecuado para aprovechar las transferencias, que de las nuevas biotecnologías les lleguen de los países desarrollados, todavía tendrán que salvar los países del “Tercer Mundo” el escollo de adaptarlas a sus propias necesidades. En este sentido, es especialmente delicado el tipo de transferencia biotecnológica y las condiciones de realización de la misma. No sería de extrañar que las transferencias biotecnológicas que se llevaran a cabo obedecieran más a los propios intereses de los países desarrollados que a los de los compradores del “Tercer Mundo”. Otra dificultad, no menor, surge del carácter ambivalente de estas nuevas tecnologías de la vida. En concreto, nos referimos al hecho de que las mismas pueden usarse tanto para terapias curativas como para crear nuevas enfermedades. Es decir, su uso puede ser militar. Lo que puede, sin duda, limitar las transferencias de estas tecnologías de los países desarrollados a los países en vías de desarrollo.

Pese a las dificultades hasta aquí señaladas consideramos que las nuevas biotecnologías y los conocimientos que de sus usos devienen (sobre todo de aquellos que siendo difundidos públicamente como ocurre, por ejemplo, con Programas de Investigación tan ambiciosos como el Proyecto Genoma Humano, que en otro lugar vimos más detalladamente) pueden contribuir a diagnosticar mejor y a tratar, e incluso llegar a curar, enfermedades que se dan básicamente en el “Tercer Mundo” y que actualmente causan tanto dolor y muerte a las poblaciones de estos países.

Que nos mostremos optimistas aquí no quiere decir que olvidemos las dificultades existentes para conseguir el objetivo de una mejor calidad de vida y salud de toda la población mundial. Lograrlo dependerá en gran medida de que los países en vías de desarrollo se involucren de una forma clara, directa e independiente en la solución de sus problemas, y de la

ayuda desinteresada de los países desarrollados. Somos conscientes de que ambos aspectos son muy difíciles de conseguir, y de que los mismos nos remiten a una mejora sustancial de la redistribución de la riqueza y del poder a escala planetaria y local, aspectos éstos que se ha mostrado a lo largo de la historia como utópicos. No podemos saber si en este caso la utopía se hará realidad, y los beneficios de las nuevas biotecnologías de la salud se distribuirán equitativamente, y aunque tengamos dudas razonables que nos sugieren que esto no será así, por lo menos esperamos que las nuevas biotecnologías ayuden de forma eficaz a la mejora de la calidad de vida y salud de las poblaciones de los países del “Tercer Mundo”, y de que no se conviertan en un lujo al alcance de los más privilegiados económicamente. En este sentido, nos adherimos aquí a la declaración bioética de Gijón, del año 2000, que en su apartado primero dice: “Las biociencias y sus tecnologías deben servir al bienestar de la humanidad, al desarrollo sostenible de todos los países, a la paz mundial y a la protección y conservación de la naturaleza. Ello implica que los países desarrollados deben compartir los beneficios de las biociencias y de sus tecnologías con los habitantes de las zonas menos favorecidas del planeta y servir al bienestar de cada ser humano”⁴³⁵.

5.2. El debate sobre las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo” aplicadas a la agricultura

Si importante resulta el debate de las repercusiones de las nuevas biotecnologías en el “Tercer Mundo” relacionadas con la salud humana, todavía es más importante el que tiene lugar en torno a la agricultura. Ello es así porque del sector agrícola, y en muchos casos de la producción de unos pocos cultivos, depende la economía y la supervivencia de gran parte de la población de los países en vías de desarrollo. La estructura socioeconómica de éstos muestra, en términos generales, una composición en la que destacan las actividades agrícolas o

⁴³⁵ En Congreso Mundial de bioética: “Declaración bioética de Gijón”, <http://www.cuadernos.bioetica.org/resenas11.htm>, Gijón, 2000, p.1.

estrechamente relacionadas con ellas⁴³⁶. Es por ello que las nuevas biotecnologías, que tantas relaciones y potencialidades tienen en el sector agrícola⁴³⁷, pueden suponer en poco tiempo una auténtica revolución para los países del “Tercer Mundo”, cuyas consecuencias positivas o negativas dependerán en gran medida del uso y control que de ellas hagan y tengan los propios países donde éstas se apliquen. Son pues estos posibles impactos socioeconómicos de las nuevas biotecnologías en el sector agrícola de los países del “Tercer Mundo”, junto con los impactos ecológicos que las mismas puedan tener, los que hacen necesaria una reflexión profunda sobre este tema.

Desde nuestro punto de vista, no es suficiente con argumentar que las nuevas biotecnologías supondrán para estos países un aumento de su producción agrícola, y que con ello no tan sólo llegaran a satisfacer sus propias demandas internas de alimentos, sino que incluso sus productos agrícolas podrán ser exportados; favoreciéndose de este modo la disminución de su déficit comercial, y el aumento de su riqueza y nivel de vida de sus poblaciones. Este argumento basado únicamente en el aumento de producción, y que fue esgrimido ya por los partidarios de la llamada “Revolución Verde”, es demasiado simple como

⁴³⁶ Así en 1999 la población agrícola estimada en los países en desarrollo era de 2.472.256.000 personas frente a 2.203.504.000 personas de población no agrícola. Si atendemos a los ingresos, los países de ingresos bajos tenían la siguiente distribución estimada: 1.242.609.000 personas de población agrícola frente a 876.025.000 de personas de población no agrícola. Pero para lo que resaltábamos en el texto nos resulta más interesante establecer las relaciones existentes entre la población activa agrícola estimada y la población agrícola no estimada, tanto para los países en desarrollo como para los países de ingresos bajos. En este sentido, y también para el año 1999, los países en desarrollo tenían una población activa agrícola estimada de 1.257.891.000 personas, lo que equivalía al 55,56% de la población activa, frente a una población activa no agrícola estimada de 1.005.929.000 personas, es decir el 44,44% de la población activa. En los países de ingresos bajos los porcentajes todavía son mayores a favor de la población activa dedicada a la agricultura. Así tenemos que para éstos la población activa estimada agrícola era de 580.683.000 personas, lo que suponía el 61,35% de la población activa, frente a una población no agrícola estimada de 365.937.000 personas, lo que equivalía al 38,65% de la población activa. Los datos han sido extraídos de la base de datos de la Food Agriculture Organization (FAO) a través de su página Web: <http://www.fao.org>.

⁴³⁷ No olvidemos a este respecto que estas relaciones y potencialidades de las que hablamos se encuentran ya en el inicio de la actividad, y abarcan todo el proceso agrícola: la variación genética de semillas y plantas; introduciendo el gen deseado a través de ingeniería genética; la propia replicación de plantas, mediante cultivo de tejidos; abarcando incluso el crecimiento de las plantas, y los rasgos alimenticios que de ellas se obtienen.

demostraron las consecuencias de ésta, y que veremos con algún detalle en el apartado siguiente.

La “Revolución Verde” constituye un antecedente de utilización de nuevas tecnologías agrícolas procedentes de los países desarrollados que se aplicaron, y aún se aplican, en los campos de los países en vías de desarrollo. El análisis cuidadoso de los resultados de ésta debe servirnos para intentar evitar introducir, como paso en aquélla, sin ningún control ni estudio de impacto previo las nuevas biotecnologías en estos países del “Tercer Mundo”; ya que de otro modo se podrían aplicar nuevas biotecnologías que en vez de beneficiar perjudicarían a estos países, y en éstos principalmente a las partes de población más desfavorecidas. Es por ello que, antes de iniciar nuestras reflexiones sobre las repercusiones que pueden tener las nuevas biotecnologías en el sector agrícola de los países del “Tercer Mundo”, daremos un vistazo a algunas de las consecuencias que ha tenido la “Revolución Verde”. Este ejercicio nos dará las claves para entender algunos aspectos del complicado e intrincado mundo que rodea a los sectores agrícolas de estos países en sus relaciones con los países desarrollados, y por tanto nos dará pistas muy útiles a la hora de analizar que repercusiones pueden tener la introducción masiva de las nuevas biotecnologías en aquellos.

5.2.1. Consecuencias de la “Revolución Verde” en los países del “Tercer Mundo”

Históricamente la “Revolución Verde” tuvo sus orígenes en México en 1943, cuando cuatro científicos norteamericanos financiados por la Fundación Rockefeller, dirigidos por el doctor George Harrar, que era un experto en enfermedades de plantas, desarrollaron la primera variedad de plantas de alta productividad⁴³⁸. El auge de esta “Revolución Verde” coincide con la década de los sesenta, y todavía hoy en día está en vigor en la mayoría de los países del “Tercer Mundo”, pero también en los países desarrollados.

⁴³⁸ La variedad de alta producción que consiguieron fue de trigo.

La “Revolución Verde” se basa en los siguientes aspectos:

- a) Introducción de “Variedades de Alta Productividad”⁴³⁹ a través de semillas mejoradas en laboratorio;
- b) utilización creciente de agroquímicos como fertilizantes⁴⁴⁰ y pesticidas⁴⁴¹ en sus variantes de herbicidas o insecticidas;
- c) utilización de maquinaria agrícola en todo el proceso de cultivo y recolección;
- d) utilización de sistemas de secado⁴⁴²;
- e) Utilización de gran cantidad de recursos hídricos a través de instalaciones complejas de irrigación⁴⁴³.

Los cinco aspectos señalados en el párrafo anterior, que conforman la llamada “Revolución Verde”, han supuesto un crecimiento de la productividad de los cultivos que se han

⁴³⁹ Conocidas internacionalmente por las siglas HYV, que corresponden a su nombre en inglés: “*High Yielding Varieties*”; las Variedades de Plantas de Alta Productividad se produjeron en laboratorio mediante el cruce selectivo y continuado de las plantas más altamente productivas, siendo sus características agroquímicas desarrolladas cuidadosamente por científicos. En muchas ocasiones la variedad de alta productividad fue cruzada con una variedad enana, ya que sus tallos más robustos son capaces de sostener espigas portadoras con más grano, y por ello resisten mejor a una inclinación excesiva de los tallos que provoca la caída al suelo, y por tanto perdida de espigas. En otras ocasiones se cruzó las HYV con variedades de plantas cuyas características las hacían más accesibles a una recolección mecanizada, lo cual permitía obtener cosechas uniformes fácilmente recolectables mediante tractores.

⁴⁴⁰ Existe una relación directa entre una mayor utilización de fertilizantes nitrogenados y una mayor producción por hectárea.

⁴⁴¹ Es un hecho constatado que las HYV son más susceptibles que las variedades tradicionales, más adaptadas al medio de donde surgieron, a plagas y enfermedades; de ahí su necesidad de una protección mayor frente a las mismas. Dicha protección se obtiene a través de pesticidas, cada vez más sofisticados, elaborados principalmente por las mismas transnacionales que producen las HYV.

⁴⁴² Las HYV basadas en semillas mejoradas permiten acortar el tiempo de crecimiento de la planta, lo que supone que se puede realizar más de una cosecha de productos tan importantes como el arroz y el maíz, por citar dos ejemplos de los más importantes. Esto significa en la práctica que el grano recolectado en época de lluvias debe secarse a través de secadoras, que suelen utilizar la electricidad o combustible para funcionar, a fin de que la humedad no lo eche a perder.

⁴⁴³ La utilización de fertilizantes a gran escala implica grandes cantidades de agua e infraestructuras de irrigación adecuadas para su suministro, y ello a fin de garantizar su distribución más beneficiosa. Además el control del agua resulta crucial a la hora de garantizar la humedad adecuada, en el tiempo pertinente, para las plantas. Existe una correlación demostrada entre el control del agua (una gran cantidad de agua) y la productividad que se obtiene de las HYV.

basado en ellos. Ello es debido principalmente, en primer lugar, a la mayor productividad que obtienen las “Variedades de Alta Productividad” con relación a las variedades tradicionales y, en segundo lugar, a que frente a éstas son capaces de un crecimiento más rápido; lo que supone la posibilidad de obtener por año más de una cosecha en cultivos, por ejemplo, como el arroz en los que antes era posible una sola. Pero estas consecuencias positivas de la “Revolución Verde” en el “Tercer Mundo” se ven ensombrecidas por algunas consecuencias negativas surgidas de la misma.

Respecto a las consecuencias negativas derivadas de la “Revolución Verde” varias son las dimensiones a destacar. En primer lugar, hay que señalar que el cambio de las Variedades Tradicionales por “Variedades de Alta Productividad” supuso en poco tiempo la casi total desaparición de aquéllas. Esto ha supuesto, en los pocos años en que la “Revolución Verde” ha venido implantándose, una perdida de diversidad genética de incalculables consecuencias. En efecto, mucha de la riqueza del germoplasma que había sido producido a lo largo de innumerables generaciones de agricultores, que fueron mejorando la adecuación de sus cultivos al medio que los rodeaba, ha desaparecido como consecuencia de la implantación de la “Revolución Verde” en los países del “Tercer Mundo”. Esto es especialmente preocupante si tenemos en cuenta que la mejora de las propias “Variedades de Alta Productividad” depende de los genes de plantas que dejan de plantarse por la introducción de aquéllas. Lo realmente grave de este proceso es el peligro que se corre de llegar a una situación en la que no se hallen los genes cuya introducción evite la destrucción por plaga o enfermedad de cultivos de vital importancia para la supervivencia del Hombre.⁴⁴⁴ Ante esta hipotética situación serían,

⁴⁴⁴ De momento la creación de genes por medio de ingeniería genética no deja de ser una posibilidad lejana en el tiempo, siendo la base de las técnicas biotecnológicas la recombinación de genes seleccionados ya existentes en la naturaleza. Por otro lado, la existencia de bancos de semillas o bancos de genes, cuya ubicación se encuentra en los países desarrollados, plantea en muchas ocasiones inadecuaciones técnicas y/o fallos de equipamiento que hacen perder las semillas o genes que se intentan proteger. Aunque más importante que esto último es el hecho de que las semillas o genes que ingresan en estos bancos se alejan de su medio natural, y de su posibilidad de seguir adaptándose a los cambios del mismo.

paradójicamente, las poblaciones de los países del “Tercer Mundo” (los que más riqueza en germoplasma poseen a través de sus cultivos tradicionales) las primeras en sucumbir.

En segundo lugar, destacar que otra de las consecuencias negativas que tienen su origen en la “Revolución Verde” es la que se refiere a la concentración de la propiedad en unas pocas transnacionales localizadas en los países desarrollados, procedentes en su mayoría del sector químico y farmacéutico, de la producción de semillas que posibilitan la obtención de las “Variedades de Alta Productividad”; y de los *inputs* agroquímicos, fertilizantes y pesticidas tan necesarios en ellas para garantizar su rendimiento.⁴⁴⁵ La tabla que presentamos a continuación nos da una idea de la concentración a la que hacemos referencia. La misma, iniciada a mediados de la década de los setenta, alcanzó un nivel muy alto en poco más de una década.

⁴⁴⁵ Véase al respecto, por ejemplo, los diversos trabajos incluidos en Henk Hobbelink (Ed.): *Más allá de la Revolución Verde. Las nuevas tecnologías genéticas para la agricultura, ¿desafío o desastre?*, Editorial Lerna, Barcelona, 1987. La idea que hay detrás de este control de las transnacionales agroquímicas y farmacéuticas de la producción de semillas es tan simple como efectiva. Se trata de cautivar las elecciones estratégicas de los agricultores referentes a la protección de sus cosechas. El agricultor elige una semilla determinada de una marca concreta; y al hacerlo ya está decidiendo que marca de insecticida y herbicida utilizará, ya que en la misma semilla, a través de manipulación genética, se ha introducido la resistencia al herbicida o insecticida concreto. No es de extrañar, pues, que las cinco transnacionales más importantes del sector agroquímico hayan comprado, o adquirido volúmenes sustanciales de acciones de empresas de semillas y biotecnología. En este sentido: “En un período de 4 meses sólo en 1998, Monsanto gastó cerca de seis mil millones de dólares americanos comprando o invirtiendo en compañías de semillas, incluidas el negocio de semillas internacional de Cargill, Deskalb Plant Genetics (segundo mayor proveedor de semillas de maíz en los Estados Unidos), Delta & Pine Land (suministra el 73% del mercado de semillas de Algodón de USA), y la planta internacional de producción de Unilever. Con estas adquisiciones Monsanto se convirtió en la segunda mayor compañía de semillas del mundo (...) En 1999 DuPont acabó de comprar Pioneer Hi-Bred, convirtiéndose en la mayor compañía de semillas del mundo. Novartis, ahora la segunda mayor compañía agroquímica del mundo (la recientemente formada por Aventis es la mayor) es también la tercera compañía de semillas del mundo.” (Hansen, 2000: 8).

TABLA 5.2.
GRANDES EMPRESAS MUNDIALES DE SEMILLAS

EMPRESA MADRE	NACIONALIDAD	INDUSTRIA	VENTAS TOTALES ⁴⁴⁶	VENTAS DE SEMILLAS	EMPRESAS DE SEMILLAS CONTRATADAS ⁴⁴⁷
Pioneer Hi-Bred	Norteamericana	Semillas	716	716	38
Sandoz	Suiza	Química	3.161	291	36
Royal Dutch/Sell	Anglo-Holandesa	Química	84.965	200	70
Volvo	Sueca	automóvil	10.518	205	47
Dekalb-Pfizer	Norteamericana	Química	4.507	199	34
Upjohn	Norteamericana	Química	2.180	140	15
Ciba-Geigy	Suiza	Química	7.340	185	31
Lubrizol	Norteamericana	Química	844	110	16
Suiker Unie	Holandesa	Agropecuaria	480	100	28
Cargill	Norteamericana	Agropecuaria	30.000	100	29
TOITALES			144.711	2.246	344

FUENTE: Hobbelink (1987: 24)⁴⁴⁸

Esta concentración se ha visto favorecida por la aprobación de leyes nacionales y acuerdos internacionales como el Convenio de la Unión para la Protección de las Obtenciones Vegetales (Convenio UPOV), y principalmente, dado el poder que tienen los Estados Unidos de América en el ámbito del comercio internacional relacionado con la agricultura⁴⁴⁹, los regímenes de protección en plantas de este país: Plant Patent Act para plantas propagadas por medio vegetativos, exceptuando a los tubérculos, y su Régimen de Obtenciones Vegetales para Plantas de Reproducción Sexual. Estos regímenes estadounidenses han jugado un papel muy importante para que sus empresas transnacionales obtuvieran un gran control sobre el mercado de semillas. Con todo, el paso decisivo para la apropiación de los recursos genéticos aportados por las

⁴⁴⁶ En millones de dólares.

⁴⁴⁷ Se incluyen Fusiones y Consorcios.

⁴⁴⁸ En 1997 las diez empresas más importantes de semillas y fertilizantes eran: Dupont/Pioneer, Monsanto, Novartis, Grupo Limagrain, Advanta, AgriBiotech, Grupo Pulsar, Sakata, Kws AG, y Takii. Muchas de ellas productoras también de agroquímicos. Pero volveremos más adelante a tocar este tema con mayor profundidad.

⁴⁴⁹ Debemos decir aquí que Estados Unidos es miembro del Convenio UPOV, pero que en este país, como en todos, su legislación propia de protección de plantas es más importante que los Convenios internacionales suscritos. No obstante, dicha legislación propia respeta, como es preceptivo, los acuerdos firmados.

plantas lo constituye la decisión adoptada en 1985, por vía de recurso administrativo en el caso “Hibberd”, y que posibilita en Estados Unidos de América la patentabilidad de plantas.

El caso de la apropiación de los recursos genéticos de las plantas por las transnacionales europeas a través de sus sistemas de protección intelectual es algo más complejo y sutil. Puesto que a pesar de que la Convención de la Patente Europea firmada en Munich en 1973, la cual: “Expresamente excluyó -como lo hacen, consecuentemente, las legislaciones nacionales de los países miembros de dicha convención- el patentamiento de las variedades vegetales y de los procedimientos esencialmente biológicos para su producción. La exclusión no alcanza empero, a los procesos microbiológicos y al producto obtenido por su aplicación (Art. 53.b. de la convención citada) (...) Ha argumentado (la propia UPOV⁴⁵⁰) que sólo las variedades de plantas *per se* no son patentables, pero que la prohibición no alcanza a solicitudes referidas a características válidas para diversas plantas.” (Correa, 1990: 17).

Por otro lado, para los países de la Unión Europea (UE) entró en vigor, en julio de 1994, el Reglamento (CE) N° 2100/94 relativo a la Protección Comunitaria de Obtenciones Vegetales, el que respetando los Convenios Internacionales firmados por los países miembros de la UE, tales como el Convenio UPOV y el Convenio sobre la Patente Europea, especifica claramente el marco reglamentario por el cual se rigen las condiciones de apropiación de las variedades vegetales para estos países.⁴⁵¹

No es nuestra intención profundizar aquí sobre los Sistemas de Patentes, o sobre los derechos del obtentor de variedades de plantas con los que se dotan los países desarrollados para

⁴⁵⁰ En Unión para la Protección de los Vegetales: “The interface between patent protection and plant breeder’s rights”, CAJ/XXIV, Proyecto de memorándum establecido por la Secretaría de la UPOV en colaboración con la Secretaría de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), 1989, p. 50.

⁴⁵¹ Ver al respecto el Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 227: “Reglamento (CE) N° 2100/94 del Consejo, de 27 de julio de 1994, relativo a la protección comunitaria de las obtenciones vegetales”, Ed. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 1 de septiembre de 1994, pp. 1-30.

proteger sus intereses económicos en plantas. Lo que nos interesa señalar en este momento es que estos Sistemas son los que permiten a las Corporaciones Transnacionales tener la posesión de plantas en régimen de monopolio temporal, y por tanto dictar las condiciones para su venta. A esto hay que añadir que las Corporaciones tienden lógicamente a vender sus plantas patentadas, o al menos aquellas de las cuales poseen derechos de obtentor. Esto facilita que las variedades tradicionales de plantas tiendan a ser sustituidas por las plantas patentadas, o con derechos de obtentor, que poseen las transnacionales. Lo que queremos decir aquí es que: cuanto mayores sean los derechos otorgados por un régimen de Protección de las Plantas, paradójicamente, mayor será la perdida de variedad germoplásrica de los cultivos con los que se alimenta la población humana. Ello es debido a que, por un lado, las transnacionales están más interesadas en vender sus plantas patentadas, o de las que tengan derechos de obtentor; por otro lado, a mayores derechos monopolísticos, otorgados por los sistemas de protección citados, mayor interés en obtener plantas que puedan acogerse a ellos. Esto implica más variedades de plantas que se intentan sustituir, y mayor presión por parte de las transnacionales para vender sus plantas; plantas que, no lo olvidemos, sustituyen a las autóctonas.

Además se da la curiosa circunstancia de que son los países del “Tercer Mundo” los que a través del libre uso de su germoplasma donan, sin coste alguno para las transnacionales, el material genético que éstas recombinan para sus nuevas variedades, y que después venden a estos mismos países en régimen de monopolio.

El tercer punto de las consecuencias negativas de la “Revolución Verde” que queremos destacar, y que entraña directamente con el régimen monopolista al que se acogen las transnacionales, y que hemos visto en el punto anterior, es el que se refiere al hecho de que es posible vincular el desarrollo, producción y comercialización de los productos agroquímicos con las “Variedades de Plantas de Alta Producción”. Esta vinculación permite a las Corporaciones Transnacionales vender en un mismo paquete: sus semillas, sus fertilizantes, sus insecticidas y

sus herbicidas. Esto se ve facilitado por el hecho de que todos estos elementos se hallan ligados de tal manera que conforman la mejor y única combinación posible para alcanzar la producción esperada. De esta forma: “La empresa Ciba-Geigy, por ejemplo, comercializa su propia marca de semillas de sorgo, empaquetada junto con tres productos químicos, uno de los cuales sirve para proteger la semilla de sorgo de la Ciba-Geigy contra los efectos del principal herbicida de Ciba-Geigy. La integración de esas tecnologías en un solo conjunto de comercialización permite a la compañía vender más semillas y más productos químicos.” (Hobbelink, 1987: 23).

Estando el negocio de los agroquímicos vinculado a las mismas Corporaciones que venden las semillas y siendo, además, éstas las que determinan, en gran medida, las necesidades de fertilizantes y pesticidas; no es de extrañar que, pese a las consecuencias negativas para el medio ambiente e incluso para la salud humana que han tenido éstos⁴⁵², su uso se haya visto incrementado paulatinamente desde el inicio de la “Revolución Verde”. Las tablas y gráficos que presentamos a continuación nos dan buena cuenta de ello para el caso de los fertilizantes.

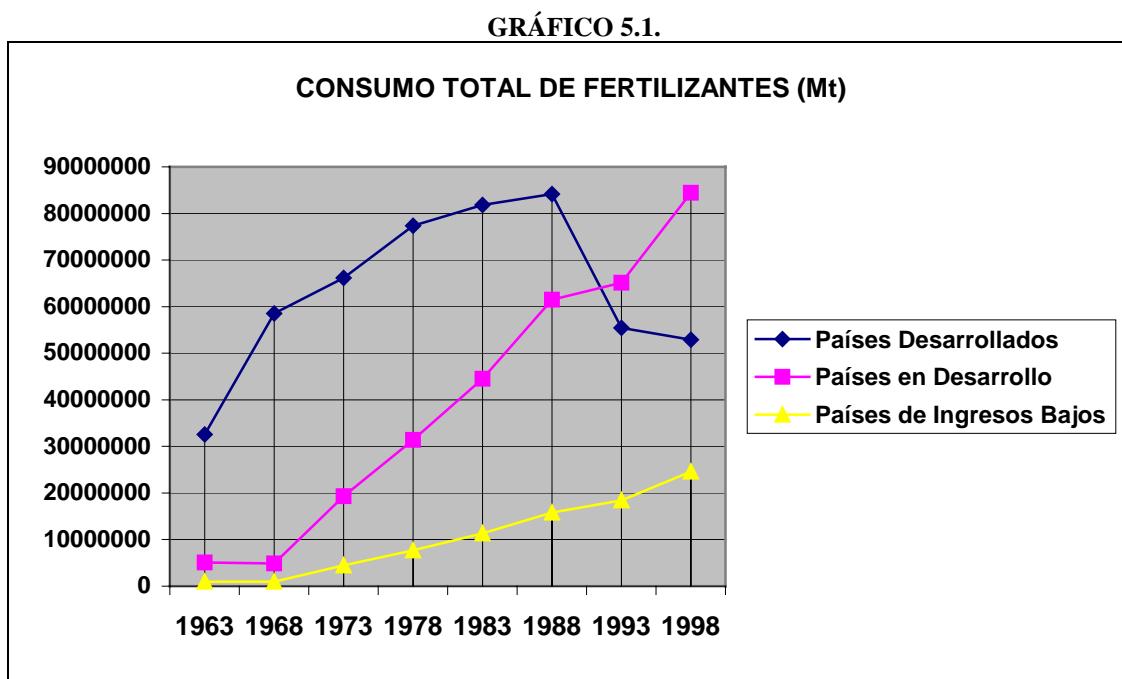
**TABLA 5.3.
CONSUMO TOTAL DE FERTILIZANTES (Mt)**

Fertilizantes, Total Consumo (Mt)	Año							
	1998	1993	1988	1983	1978	1973	1968	1963
Países Desarrollados	52.904.680	55.472.426	84.126.566	81.805.183	77.386.919	66.168.926	58.526.339	32.583.044
Países en Desarrollo	84.450.363	65.150.443	61.510.380	44.486.552	31.367.342	19.306.423	4.854.639	5.104.854
Países de Ingresos Bajos	24.625.361	18.413.985	15.765.928	11.321.291	7.688.886	4.439.029	947.908	953.119

FUENTE: <http://www.apps.fao.org/page/colections?subject:agriculture>

⁴⁵² La utilización excesiva de fertilizantes basados en nitratos unida a la no rotación de cultivos origina un estrés en el suelo que acaba por hacer desaparecer la riqueza de éste. En cuanto a la salud humana son bien conocidas las intoxicaciones sufridas por los agricultores por los pesticidas existentes en el mercado. A esto hay que añadir los problemas de envenenamiento que pueden provocar las propias semillas al ser tratadas antes de ser plantadas con fungicidas químicos que contienen compuestos de metil-mercurio. Como se sabe los compuestos de metil-mercurio son altamente tóxicos y fácilmente absorbidos por el sistema nervioso de los seres humanos. Como señala Henk Hobbelink: “Se han dado casos de envenenamiento a consecuencia de haber ingerido alimentos contaminados por esas sustancias. En una comunidad del Irak, semillas de trigo tratadas con mercurio fueron utilizadas accidentalmente para elaborar harina de pan. Algunos de los que comieron ese pan sufrieron graves parálisis y convulsiones durante más de dos meses, y casi 2.000 murieron, entre ellos numerosos niños.” (Hobbelink, 1987: 71). Respecto a la degradación del medio ambiente es de sobra conocida la contaminación de las aguas subterráneas producidas por la utilización masiva de agroquímicos.

Pero veamos, en el siguiente gráfico, como se distribuían estos datos.



FUENTE: Elaboración propia basada en datos de <http://www.apps.fao.org/page/collections?subject:agriculture>

Los datos de la tabla, y la representación gráfica que los ilustra, muestran que en el consumo de fertilizantes se produce un aumento constante para los países de ingresos bajos, y sobre todo para los países en desarrollo que suben de manera espectacular desde 1968. Los países desarrollados tienen un gran aumento del consumo de fertilizantes al principio del período (1963-1968), para después aumentar paulatinamente hasta 1988, año en que este consumo empieza a caer espectacularmente, y cuya caída se prolonga durante 5 cinco años; tanto es así que en 1993 los países desarrollados se sitúan por primera vez en la historia por debajo en el consumo de fertilizantes que los países en desarrollo. En el período 1993-1998 los países desarrollados frenan la caída registrada en el período anterior, pero se incrementa el diferencial a favor del consumo de fertilizantes de los países en desarrollo. Pero mostremos como fue el comportamiento respecto a la producción de fertilizantes de estos tres grupos de países.

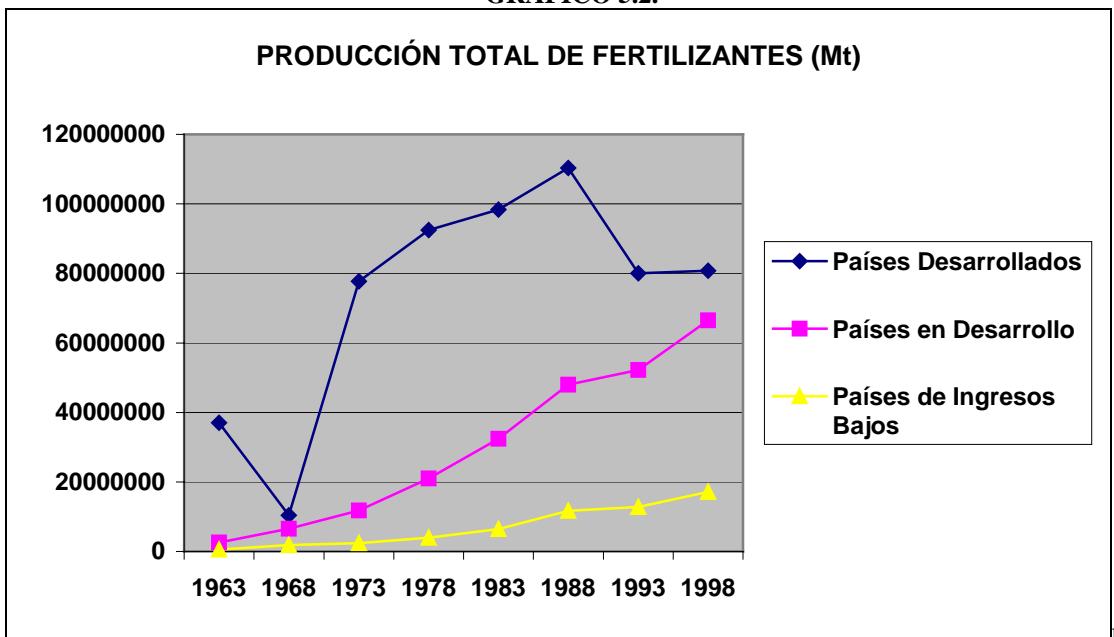
TABLA 5.4.
PRODUCCIÓN TOTAL DE FERTILIZANTES (Mt)

<i>Fertilizantes, Total Producción (Mt)</i>	Año							
	1998	1993	1988	1983	1978	1973	1968	1963
Países Desarrollados	80.749.451	80.020.936	110.294.309	98.355.838	92.499.811	77.759.934	10.366.809	37.035.564
Países en Desarrollo	66.503.256	52.253.681	47.960.679	32.455.980	20.985.927	11.800.696	6.569.235	2.618.347
Países Ingresos Bajos	17.113.760	12.834.400	11.733.802	6.485.489	4.000.315	2.388.056	1.843.061	532.097

FUENTE: <http://www.apps.fao.org/page/colections?subject:agriculture>

Los datos de producción de fertilizantes presentados muestran un aumento constante en los países en desarrollo y en los países de ingresos bajos; aunque en éstos en menor medida que aquellos. Los datos para los países desarrollados también señalan un aumento constante hasta el período 1988-1993, período en que se produce una caída espectacular que se frena en el período siguiente (1993-1998). Este último período se caracteriza por un estancamiento de la producción de fertilizantes de los países desarrollados y por una aproximación en términos de producción de los países en desarrollo. Pero ilustremos estos comentarios con el siguiente gráfico, el cual nos muestra visualmente los comentarios aquí efectuados.

GRÁFICO 5.2.



FUENTE: Elaboración propia basada en datos de <http://www.apps.fao.org/page/collections?subject:agriculture>

La última consecuencia negativa que queremos destacar se refiere al impacto que ha tenido la “Revolución Verde” en las estructuras socioeconómicas del “Tercer Mundo”. En este sentido, ésta al ser intensiva en capital y tierras, y no en fuerza de trabajo, ha hecho disminuir el número de empleados en las explotaciones agrícolas de gran tamaño. Además, ha imposibilitado al campesinado más humilde, no tan sólo acceder a los crecimientos de producción que proporciona la “Revolución Verde”; sino que incluso en muchos casos lo ha expulsado de los campos debido a la exclusión del Mercado de sus productos basados en variedades tradicionales, productos que no pueden competir con los precios más bajos que el aumento de producción de las “Variedades de Alta Productividad” origina. Esto ha supuesto que los verdaderos beneficiados de esta “Revolución Agrícola”, aparte de las transnacionales, hayan sido los terratenientes que (teniendo buenas tierras, capital y abundante agua para la irrigación) han aumentado su producción en una cantidad lo suficientemente elevada como para que, incluso una vez descontado el pago de los *inputs* que comporta este tipo de explotaciones, sus beneficios se hayan incrementado. Claro está que éstos también pueden disminuir a medio plazo a consecuencia de los incrementos de precios de las semillas, y agroquímicos procedentes de las transnacionales de los países desarrollados. El aumento de precios de los *inputs* señalados

repercibiría, sobre todo, y de forma muy negativa, en el precio de los alimentos, y por tanto en la cantidad de éstos que la población más pobre económicamente pueda adquirir. Por otro lado, también es posible que la gran cantidad de agua necesaria para mantener la agricultura basada en la “Revolución Verde” disminuya las reservas de ella existen, sobre todo en países con caudales ya de por sí pobres. La falta de agua, como es sabido, disminuye en gran medida el rendimiento de las “Plantas de Alta Productividad”; lo que puede traer como consecuencia una disminución de los alimentos en el Mercado, y el aumento de precio de los mismos.

Nos parece interesante recordar aquí que las plantas autóctonas, más adecuadas a su medio, necesitan menos: cantidad de agua, nitratos, pesticidas, herbicidas, instalaciones de secado, mecanización que las “Plantas de Alta Productividad”. También nos parece interesante recordar que, pese a su menor productividad⁴⁵³, las plantas autóctonas tienen las ventajas de: ser intensivas en mano de obra⁴⁵⁴; conservar y mejorar el germoplasma propio del lugar; no estar sujetas a cargas monopolísticas, las otorgadas por los monopolios legales que otorgan los regímenes de protección de las invenciones; no estar sujetas a las compras de los *inputs* que hemos venido señalando; ser más respetuosas con el medio ambiente; estar más adecuadas a las condiciones climáticas; y necesitar una cantidad de agua menor que las HYV.

El proceso de implantación de la “Revolución Verde” en los países en vías de desarrollo ha implicado, entre otras consecuencias, que muchos campesinos hayan abandonado sus tierras, y con ellas sus cultivos de variedades tradicionales. Esto ha supuesto, en la mayor parte de las ocasiones, la perdida de la riqueza del germoplasma acumulada en las comunidades agrícolas por muchas generaciones. Con ser esto importante; también lo es el desarraigo cultural y de

⁴⁵³ La cual se da sólo en el caso de que se utilicen en gran cantidad los *inputs* señalados. Cualquier disminución de ellos implica una reducción del rendimiento que se obtiene.

⁴⁵⁴ En países como los del “Tercer Mundo”, que no olvidemos tienen un sector industrial y de servicios muy pequeños, y que por tanto gran parte de la población trabaja en los campos, se hace necesaria una agricultura intensiva en mano de obra y no en capital, y ello si no se quiere que esta población quede desempleada en los suburbios de las ciudades, y sin posibilidades de encontrar empleo, con las graves consecuencias que esta situación de marginalidad conlleva.

valores que sufre el campesino que se ve obligado a acudir a un medio que le es extraño, la ciudad, para intentar encontrar un trabajo que le permita mantener a sus familias.

En definitiva: “Quizá la lección más importante que pueda aprenderse de la Revolución Verde es que la tecnología no es en sí misma una solución sino una herramienta muy especial a la que es inherente una determinada tendencia hacia un determinado tipo de desarrollo. Sus éxitos dependen en parte de su calidad científica; también dependen del modo en que es creada y de las circunstancias en que es desarrollada y utilizada, de los intereses de aquellos que la introducen y de las circunstancias de aquellos a los que va destinada.” (Hobbelink, 1987: 120).

5.2.2. Algunas Consecuencias para los países del “Tercer Mundo” de la “Revolución Agrícola” basada en la utilización de las nuevas biotecnologías

La biotecnología no es en sí una novedad de última generación tecnológica. Antes bien, ésta ha sido utilizada por el hombre desde hace mucho tiempo en la elaboración de alimentos tan antiguos como: el pan, la cerveza, el vino, el queso, el yogurt. Los mismos cruces de plantas y animales, tan frecuentes desde el inicio de la agricultura y la ganadería, forman parte de una biotecnología tradicional que usa métodos sencillos como los del injerto o el cruce entre animales para mejorar cultivos y ganado. Estos métodos, basados en una técnica de ensayo y error, han ayudado a proporcionar, a través de muchas generaciones de agricultores y ganaderos, las variedades de cultivo y razas de ganado que conocemos hoy en día.

Las nuevas biotecnologías se basan en técnicas surgidas en laboratorios de investigación, e incrementan de manera espectacular las posibilidades de combinación genética; incluso entre distintas especies, variedades y reinos.⁴⁵⁵ Además, la probabilidad de éxito que ofrecen es muchísimo mayor que la que ofrecen las biotecnologías tradicionales, y el tiempo para la obtención de la característica deseada es también muchísimo menor. Con todo, lo más

⁴⁵⁵ De esta forma es posible intercambiar genes de razas distintas de animales, o de variedades distintas de plantas. También se hace posible un intercambio de genes entre animales y plantas.

importante es que se evita que aparezcan en el animal o planta características no deseadas. Lo que en las biotecnologías tradicionales, debido a su inserción masiva de genes, es algo habitual.

En definitiva, las nuevas biotecnologías, con los límites que señalamos en su momento, al poder introducir genes específicos que expresan funciones específicas, y al tener la capacidad de aislar tejidos y células individuales, haciéndolas crecer en laboratorio, aumentan la probabilidad de éxito, disminuyen el tiempo para lograrlo, y hacen menos probable la aparición de características no deseadas en el animal o planta final.

5.2.2.1. Nuevas biotecnologías utilizadas en la agricultura

Las nuevas biotecnologías aplicadas a la agricultura se basan fundamentalmente en la utilización de dos técnicas que han sido desarrolladas y perfeccionadas por la ciencia en las últimas décadas. La primera técnica a la que nos referimos es la de cultivo de tejidos. Esta técnica se basa en el aislamiento de tejidos y células individuales, a fin de hacerlos crecer fuera de las plantas de las que proceden.⁴⁵⁶ Esto posibilita acelerar, en gran medida, el trabajo de producción de plantas.⁴⁵⁷ 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 recombinante⁴⁵⁸. Esta técnica, que tiene un alcance mayor que la que hemos visto anteriormente, permite al productor de plantas obtener las

⁴⁵⁶ Constatar aquí 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.

⁴⁵⁷ Si con las técnicas tradicionales el productor de plantas puede necesitar 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.

⁴⁵⁸ A esta técnica también se la suele denominar como ingeniería genética.

características deseadas de una célula a través del aislamiento del gen o genes que la expresan⁴⁵⁹, e incorporarlas a otra.

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.⁴⁶⁰ 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.

5.2.2.2. ¿Quién controla la “Revolución Agrícola” basada en las nuevas biotecnologías?

⁴⁵⁹ 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.

⁴⁶⁰ En el capítulo segundo de esta tesis, concretamente en su apartado cuarto, explicamos con mayor profundidad las aplicaciones a las que hacemos referencia aquí.

Dos aspectos fundamentales que inciden en el modelo de desarrollo de la tecnología, en este caso las nuevas biotecnologías no muestran ser una excepción, son el de quién la controla⁴⁶¹ y, enlazado con éste, cómo funciona este control; y cuáles son los mecanismos institucionales y sociales existentes para controlar al controlador de la tecnología⁴⁶².

En lo que sigue intentaremos ampliar los dos aspectos fundamentales mencionados en el apartado anterior, centrándonos en el impacto de las nuevas biotecnologías agrícolas en los países del “Tercer Mundo”. Para ello, nos parece conveniente iniciar nuestro camino dando una visión global de las distintas etapas de introducción de las nuevas biotecnologías dentro del Mercado. En éste son las empresas transnacionales de los sectores tradicionales 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

⁴⁶¹ El control incluye, entre otros, sin ánimo de ser exhaustivos, los siguientes aspectos: (a) la decisión sobre qué tecnología desarrollar, (b) los objetivos que la misma persigue, (c) decidir sobre los medios, tanto materiales como intelectuales, que se emplearan en la consecución de aquella (d) establecer quien tendrá acceso y quien no a ella, y bajo qué condiciones, (e) orientar, o, si el control es lo suficientemente grande, vetar los desarrollos que de ella se deriven, (f) obtener los beneficios asociados a la misma, (g) 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. Véase Francis Bacon: *Nueva Atlántida*, Ed Mondadori, Barcelona, 1988.

⁴⁶² 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 controlar las tecnologías.

asegura un rápido surgimiento de la planta, uniformidad del cultivo y máxima cosecha; pero esta empresa también produce el Dividend Spectro® que es un fungicida que sirve para controlar las enfermedades más importantes en cosechas, o insecticidas como Match® y Vertimec®, y herbicidas como Gesaprim®, AAttrax®, 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 Agroscience 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 la 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)⁴⁶³, 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.

No creemos que en el desarrollo de estas nuevas biotecnologías las Administraciones de los países en vías de desarrollo y sus poblaciones puedan participar, negarse a su aplicación, o al menos tener los medios para evitar los impactos negativos que puedan suponer sus aplicaciones⁴⁶⁴. Tampoco creemos que Organismos internacionales como la FAO (*Food and Agriculture Organisation*), o la OMS (Organización Mundial de la Salud) tengan suficiente poder coercitivo sobre las transnacionales para limitar su control de las nuevas biotecnologías agrícolas, sobre todo de las que se aplican en los países en vías de desarrollo.

Pero veamos como se inició y desarrolló el proceso que ha llevado al control de las nuevas biotecnologías por parte de las transnacionales. Dicho desarrollo se ha dividido en etapas

⁴⁶³ Incluimos aquí a los grupos ecologistas y a las asociaciones de consumidores.

⁴⁶⁴ El nulo control de los países en vías de desarrollo sobre las tecnologías agrícolas, introducidas en ellos por las transnacionales, tiene el precedente histórico de la llamada “Revolución Verde” que hemos comentado más arriba. Por otra parte, y en referencia a la aplicación de las nuevas biotecnologías en la agricultura de los países del “Tercer Mundo”, el mismo Protocolo de Cartagena sobre bioseguridad reconoce la debilidad de éstos cuando dice: “teniendo en cuenta la reducida capacidad de muchos países, en especial de los países en desarrollo, para controlar la naturaleza y magnitud de los riesgos conocidos y potenciales de los organismos vivos modificados.” (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad biológica, 2000: 1).

temporales. Sin embargo, debemos advertir que algunos de los rasgos que caracterizan a las mismas 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 aquellos en una u otra etapa es el momento de su inicio.

Las nuevas biotecnologías en sus inicios 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 las mismas empezaron a ser interesantes a mediados de los 70s; cuando algunas de las técnicas utilizadas por la biotecnología estuvieron maduras para obtener aplicaciones interesantes desde el punto de vista del Mercado⁴⁶⁵.

En la primera etapa que consideramos, y que abarcaría desde la mitad de los años 70s hasta mediados de los 80s, 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 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 éstos laboratorios públicos y pequeñas empresas, los descubrimientos que los mismos realizaban.

⁴⁶⁵ 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.

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 80s, y abarcaría aproximadamente hasta mediados de los 90s. 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 estratégicos⁴⁶⁶. 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 obtenido⁴⁶⁷. 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

⁴⁶⁶ 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 Ludwigshafen un centro de biotecnología valorado en 23 millones de dólares.

⁴⁶⁷ 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.

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 que se debe investigar.⁴⁶⁸ De esta forma: “La Monsanto <>donó>> 23,5 millones de dólares a la Universidad de Washington para investigación biotecnológica; la Bayer entrega 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 90s; 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 decisores⁴⁶⁹, basada principalmente en: la adquisición por parte de aquéllas de empresas biotecnológicas especializadas⁴⁷⁰, o de acuerdos entre las mismas transnacionales⁴⁷¹; una expansión considerable de la extensión de cultivos que emplean nuevas

⁴⁶⁸ Este proceder, claro está, crea un deterioro del principio de libertad académica y de elección, por parte de los científicos, de las áreas de conocimiento a 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.

⁴⁶⁹ 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.

⁴⁷⁰ 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

⁴⁷¹ 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

biotecnologías⁴⁷²; la introducción en el Mercado de productos alimenticios que en alguna parte de su elaboración han empleado éstas⁴⁷³; y la globalización de este proceso⁴⁷⁴.

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 agricultura⁴⁷⁵. Los motivos principales que han tenido para ello han sido no perder las grandes cuotas de mercado de la agricultura mundial, que la

Dupont que tuvo lugar en 1998, ambas del sector químico; y la joint venture de Monsanto con Cargill que data de 1997.

⁴⁷² 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. Los datos proceden del *Transgenic Plants and World Agriculture*, Informe presentado bajo los auspicios de la Royal Society of London, The U.S. National Academy of Sciences, the Brazilian Academy of Sciences, and the Mexican Academy of Sciences, National Academy Press, Washington D.C., julio de 2000, P. iv. 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. Los datos proceden de <http://www.fao.org/Noticias/2000/000304-S.htm>.

⁴⁷³ Recordemos que: “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 consumer, 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.

⁴⁷⁴ 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.

⁴⁷⁵ En este 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”. La cita proviene de Pesticide Action Network: “Global Enterprises Dominate Commercial Agriculture”, Industry Mergers & Integration, 9 de febrero de 1998. En <http://www.biotech-info.net/dominate.html>.

“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 5.5.
LAS 10 EMPRESAS DEL MUNDO CON MAYORES INGRESOS POR PRODUCTOS
BIOTECNOLOGICOS EN BILLONES DE DOLARES (1997)**

	AGROQUÍMICOS (Pesticidas e Insecticidas)	SEMILLAS Y FERTILIZANTES	ALIMENTOS PROCESADOS	MEDICINAS
PRIMERA	Grupo Aventeis (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	Merck (EU) \$ 13,636
TERCERA	MONSANTO (EU) \$ 3,126	Novartis (Suiza) \$ 0,928	Unilever PLC (UK) \$ 24,17	Glaxo Welcome (UK) \$ 13,082
CUARTA	Zeneca/Astra (UK) \$ 2,674	Grpo. 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 \$. Pero la tabla también nos muestra la gran concentración por países de origen de estas transnacionales: Estados Unidos tenía 19, Reino Unido 7, Suiza, 4, Francia, Alemania y Japón 3 cada uno, y México 1; siendo éste 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 Aspertama 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 agrícola⁴⁷⁶; proceso en el que juegan un importante papel las nuevas biotecnologías. Este proceso, como ya dijimos, afecta a la agricultura, pero también a lo que ha venido en llamarse la “cadena de producción agro-industrial”⁴⁷⁷, y 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. Resumiendo: “La biotecnología tendrá un impacto en todos los

⁴⁷⁶ 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).

⁴⁷⁷ 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.

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).

5.2.2.3. 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 procedentes de otras plantas, incluso de distintas variedades, o procedentes de animales. 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, por ejemplo, mediante técnicas enzimáticas, 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 desbancarlo en el Mercado. Otros productos competidores que rebajan la cantidad de azúcar de caña demandado son: el *Aspertame*, 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 *Thaumatin*, 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.⁴⁷⁸

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, etc. 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

⁴⁷⁸ 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.

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 capita* de estos países disminuya todavía más⁴⁷⁹; y que las nuevas biotecnologías, que principalmente están en manos de los países desarrollados, disminuyan 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 las nuevas biotecnologías, 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).

5.2.2.4. ¿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

⁴⁷⁹ 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 ochenta, respecto al que tenía a principios de esa misma década.

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 característica⁴⁸⁰. 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

⁴⁸⁰ 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.

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 realizan (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, etc. La mejor estrategia para estas 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 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). El siguiente cuadro, que pone como ejemplo a los herbicidas, nos vuelve a señalar que una de las estrategias dominantes, si no la dominante, de las nuevas biotecnologías aplicadas a la agricultura, desde mediados de los ochenta, ha sido la creación de plantas resistentes a herbicidas. Véase, si no, la importancia de las transnacionales que contrataron empresas biotecnológicas para el desarrollo de plantas resistentes a sus herbicidas “estrella”.

**CUADRO 5.3.
DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DE LOS CULTIVOS A LOS HERBICIDAS**

Productores de Herbicidas	Empresa biotecnológica contratada	Cultivo	Resistencia a
American Cyanamid	Phyto Dynamics	Maíz	Prowl
American Cyanamid	Molecular Genetics Inc.	Maíz	Imidazolinás
American Cyanamid	Pioneer Hi-Bred	Maíz	Varios
Eli-Lilly	Phyto-Dynamics	Maíz	Treflan
Monsanto	Programa interno de la Phyto-Dynamics	Maíz	Roundup
Monsanto	Calgene	Varios	Roundup
Kemira Oy	Calgene	Nabo	Varios herbicidas de Kemira Oy
Kemira Oy	Phylogen	Algodón, Soja, Tabaco, Patata	Varios herbicidas de Kemira Oy
Rhône Poulenc	Calgene y Programa interno	Girasol	Bromoxinyl
Ciba-Geigy	Programa interno	Varios	Atrazina
Shell	Programa interno	Maíz	Cinch
Shell	Programa interno	Varios	Roundup
Deskalb Pfizar	Calgene	Maíz	No especificada
Lubrizol	Phyto Dynamics	Semillas aceiteras	No especificada

FUENTE: Compilación de ICDA⁴⁸¹ a través de diversas fuentes: <<Genetic Technology News>>, abril de 1984; <<1986 Seeds Campaign>>; Henk Hobbelink, Guido Ruivenkamp: <<Biotechnologie en de Derde Wereld>>, en Derde Wereld, Nº 86/2, Nimega, 1986; Pierre Benoit Joli, Comunication personal. El cuadro lo hemos extraído de (Hobbelink, 1987: 169).

5.2.2.5. 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 como 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.

⁴⁸¹ La ICDA (International Coalition for Development Action) es una red de más de 500 grupos y Organismos dedicados a los problemas de desarrollo, sobre todo los que afectan a los países del “Tercer Mundo”.

De hecho, las invenciones efectuadas en plantas pueden acogerse, como vimos en distintos apartados de este capítulo, a distintos regímenes legales de protección. Éstas 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 el caso de la Unión Europea. Así tenemos que se aplican en la actualidad, para países de la Unión Europea, el Reglamento (CE) Nº 2100/94 relativo a la Protección Comunitaria de Obtenciones Vegetales⁴⁸², 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 medio 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.

⁴⁸² Como ya dijimos, el Reglamento (CE) Nº 2100/94 relativo a la Protección Comunitaria de Obtenciones Vegetales respeta el Convenio UPOV; por lo que, para los países de la UE firmantes de éste, ambas legislaciones son aplicables.

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, 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 sólo un derecho monopolista en la venta y comercialización de determinadas plantas; y 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 porque 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 utilizasen este gen, de forma que éste solo 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” teman 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.⁴⁸³

⁴⁸³ Esto que fue escrito en el período inicial de la tesis a modo de hipótesis ha acabado siendo una realidad pocos años después.

No menos importante es el hecho que se deriva de la posibilidad de patentar variedades; el cual supone romper con el derecho ancestral del agricultor de utilizar para 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: 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 sólo pueden comprar *glisofato* (nombre de la marca RoundUp), es decir sólo pueden comprar el pesticida a Monsanto.” (Hansen, 2000: 9).

Con todo, la consecuencia más negativa, y no tan sólo para el “Tercer Mundo”, de la admisibilidad de patentar variedades sería la perdida 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.